

INGENIERIA EN ORGANIZACION INDUSTRIAL

PROYECTO DE FIN DE CARRERA

ESTUDIO DE UNA CELDA DE FABRICACION FLEXIBLE MEDIANTE LA SIMULACION DE EVENTOS DISCRETOS

Proyectista: Flavia Sanz Lucero

Director: Jan Rosell

Convocatoria: Curso 2013-14 2Q - Nov./Dic. 2014

DEDICATORIA

Porque cada día que pasa sueño con descubrir tu mirada,
porque el esfuerzo lo hicimos juntas,
porque nos queda mucho por aprender
y solo dos meses para conocernos.

A ti mi pequeña,
a ti mi bebé.

AGRADECIMIETOS

El presente proyecto no hubiera sido posible sin la desinteresada ayuda y el aporte de conocimiento de las personas que se citan a continuación:

Primero, al tutor de este proyecto, Jan Rosell Gratacòs. Por todo su tiempo dedicado, no solo al proyecto sino también a mi persona; por sus críticas siempre constructivas y propuestas de mejora; y por su reconocimiento por el trabajo bien realizado.

Al encargado de mi formación en el convenio de prácticas Sr. Ballescà (Jefe del área de Producción") realizado durante la ejecución de este proyecto.

A los diferentes profesores y profesionales de distintas áreas por ofrecer su ayuda, en el camino recorrido: Lesly Acosta, Albert Ferrer.

Finalmente, quiero mencionar a mi familia, amigos y especialmente a Jaime mi compañero y mejor amigo, por su cariño, colaboración y apoyo incondicional.

RESUMEN

En la actualidad las fábricas se ven afectadas por la alta competencia tanto nacional como internacional, y obligadas a mejorar sus procesos productivos para poder continuar siendo competitivas en un mercado cada vez más hostil.

El presente proyecto trata de resolver una parte importante de esta mejora: *la reducción de los tiempos improductivos o muertos*, mediante la búsqueda de una secuencia óptima de alimentación en una celda de fabricación flexible compuesta por máquinas alimentadas por un robot. El trabajo se basó en la investigación de una problemática real de la empresa Metaldyne Internacional España S.L ubicada en Gavá - Barcelona y dedicada a la fabricación de piezas de coche, realizada con el objetivo de optimizar su producción.

El sistema a estudiar está compuesto por tres máquinas paralelas idénticas de trabajo, con dos posiciones para palets intercambiables (una interna de mecanizado y otra externa de carga/descarga), y de un robot con base móvil que las alimenta.

El problema a resolver es que las máquinas no tengan tiempos muertos para maximizar la producción, por lo que la selección de la estrategia de alimentación del robot es un punto clave.

Para la resolución de dicho problema, el proyecto estudiará el comportamiento del sistema descrito mediante la simulación basada en eventos discretos usando el programa ARENA, cuyos resultados nos permitirá hallar la secuencia de la alimentación óptima en términos de reducir los tiempos muertos de las máquinas y maximizar la producción.

EPIGRAFE

"No encuentres la falta, encuentra el remedio"

"El éxito es hacer más por el mundo de lo que el mundo hace por ti"

Henry Ford

1863-1947

Ingeniero y empresario norteamericano fundador de Ford

DEDICATORIA**AGRADECIMIENTOS****RESUMEN****EPIGRAFE****ÍNDICE DE CONTENIDOS MEMORIA**

1. PREFACIO	12
1.1 Presentación de la Compañía Metaldyne	12
2. INTRODUCCION.....	16
2.1 Objeto del proyecto	16
2.2 Justificación	16
2.3 Alcance.....	16
3. DESCRIPCION DEL SISTEMA.....	18
3.1 Definición	18
3.2 Establecimiento de tiempos.....	19
3.2.1 Nomenclatura	20
3.2.2 Tiempos predeterminados de producción	21
3.3 Problemas.....	21
3.4 Estrategias de Alimentación planteadas.....	21
3.4.1 Estrategias de alimentación con secuencia fija.....	22
3.4.2 Estrategias de alimentación con secuencia variable	22
3.5 Posibles soluciones.....	23
3.5.1 Planteamiento general.....	23
3.5.2 Estrategia FMFP (Fixed machine and fixed pallet)	23
3.5.3 Estrategia FIFO (First In First Out)	23
3.6 Metodología de Resolución.....	24
3.7 Conceptos Generales y Herramientas Aplicadas.....	24
3.7.1 Sistemas de Producción Integrados (CIM).....	24
3.7.2 Sistemas de Fabricación Flexible (FMS)	25
3.7.3 Redes Petri: Definición e interpretación.....	27
3.7.4 Las Redes Petri y la Fabricación Flexible	32
3.7.5 Programa PIPE	32

3.7.6 Simulación	33
3.7.7 Programa ARENA	36
4. MODELADO	38
4.1 Modelado mediante Redes de Petri	39
4.2 Modelado ARENA.....	40
4.2.1 Proceso de trabajo	40
4.2.2 Estrategia FMFP.....	40
4.2.3 Estrategia FIFO.....	54
4.3 Determinación de parámetros de simulación	62
4.4 Validación del modelo	63
4.5 Modelos alternativos	64
4.5.1 Comparación de estrategias de alimentación FMFP-FIFO	64
4.5.2 Propuestas alternativas	65
4.5.3 Diferentes escenarios para la estrategia fija	66
4.5.4 Diferentes escenarios para la estrategia variable	77
5. VIABILIDAD DEL PROYECTO	88
5.1 Estudio económico	88
6. CONCLUSIONES.....	89
7. BIBLIOGRAFIA.....	90

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1.1 - Metaldyne: presente en 13 países.....	12
Fig. 1.1.2 - Metaldyne: visión y principios.....	12
Fig. 1.1.3 - Metaldyne Global Headquarters: Sede Central en EEUU.....	13
Fig. 1.1.4 - Metaldyne Internacional S.L: Sede Española de Valencia.....	14
Fig. 1.1.5 - Metaldyne Internacional S.L: Sede Española en Barcelona.....	15
Fig. 3.1.1 - Estructura de la celda de fabricación.....	18
Fig. 3.1.2 - Detalle de la celda de fabricación.....	19
Fig. 3.2.1 - Detalle de la Plataforma de Mecanizado.....	19
Fig. 3.4.1.1 - Secuencia de Alimentación FMFP.....	22
Fig. 3.4.2.1 - Secuencia de Alimentación FIFO.....	23
Fig. 3.7.1.1 - Esquema funcional Sistema de Manufactura integrada por Computadora.....	26
Fig. 3.7.3.1 - Ejemplo Estructura de Red Petri.....	28
Fig. 3.7.3.2 - Ejemplo Red Petri: actividades y transiciones.....	28
Fig. 3.7.3.3 - Ejemplo de Red Petri Acotada.....	29
Fig. 3.7.3.4 - Ejemplo de Red Petri No Acotada.....	29
Fig. 3.7.3.5 - Ejemplo de Red Petri Viva.....	30
Fig. 3.7.3.6 - Ejemplo de Red Petri No Viva.....	30
Fig. 3.7.3.7 - Ejemplo de Red Petri Reversible.....	31
Fig. 3.7.3.8 - Ejemplo de Red Petri No Reversible.....	31
Fig. 3.7.5.1 - Ejemplo Programa PIPE.....	32
Fig. 3.7.6.1 - Ejemplo de Sistema de Fabricación.....	34
Fig. 3.7.6.2 - Pasos en un Estudio de Simulación.....	36
Fig. 3.7.7.1 - Ejemplo Programa ARENA.....	37
Fig. 4.1.1 - Modelado mediante Red de Petri - Programa PIPE.....	39
Fig. 4.2.2.1 - Modelo Arena - FMFP.....	42
Fig. 4.2.2.2 - Bloque CREATE ARENA - Alimentación de la línea de producción.....	43

Fig. 4.2.2.3 - Bloque PROCES ARENA - Actividades del Sistema.....	44
Fig. 4.2.2.4 - Recursos utilizados en el Sistema de Producción.....	44
Fig. 4.2.2.5 - Estados del Robot.....	45
Fig. 4.2.2.6 - Estado de las máquinas.....	45
Fig. 4.2.2.7 - Fallos de las máquinas.....	46
Fig. 4.2.2.8 - Avería por máquina.....	47
Fig. 4.2.2.9 - Variable1: tviaje.....	47
Fig. 4.2.2.10 - Variable2: pos.....	48
Fig. 4.2.2.11 - Tiempos Muertos FMFP (Mach 2 y 4).....	49
Fig. 4.2.2.12 - Informe de Tiempos Muertos FMFP (Mach 2 y 4).....	50
Fig. 4.2.3.1 - Modelo Arena - FIFO.....	55
Fig. 4.2.3.3 - Bloque PROCES ARENA - Actividades del Sistema.....	56
Fig. 4.2.3.8 - Variables del Modelo.....	57
Fig. 4.2.3.11 - Informe de Tiempos Muertos FIFO (Mach 2 y 4).....	58
Fig. 4.2.3.2 - Promedio de Tiempos Muertos de las Máquinas (VP - FIFO).....	59
Fig. 4.3.1 - Programación de parámetros de la simulación.....	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.2.2.1 - Tiempos de producción de la fábrica Metaldyne S.L.....	21
Tabla 4.2.2.1 - Tiempos de producción (VP - FMFP).....	41
Tabla 4.2.2.2 - Estados del Sistema (FMFP).....	46
Tabla 4.2.2.2 - Promedio de Tiempos Muertos de las Máquinas (VP - FMFP).....	51
Tabla 4.2.3.1 - Tiempos de producción (VP - FIFO).....	54
Tabla 4.2.3.1 - Estados del Sistema (FIFO).....	57
Tabla 4.2.3.2 - Promedio de Tiempos Muertos de las Máquinas (VP - FIFO).....	59
Tabla 4.5.2.1 - Resumen de parámetros de los diferentes escenarios planteados.....	65
Tabla 4.5.3.1 - Tiempos de producción (ESC.1 - SF1).....	66
Tabla 4.5.3.2 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.1 - SF1).....	67
Tabla 4.5.3.3 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.1 - SF1).....	68
Tabla 4.5.3.4 - Tiempos de producción (ESC.2 - SF2).....	69
Tabla 4.5.3.5 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.2 - SF2).....	70
Tabla 4.5.3.6 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.2 - SF2).....	70
Tabla 4.5.3.7 - Tiempos de producción (ESC.3 - SF3).....	71
Tabla 4.5.3.8 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.3 - SF3).....	72
Tabla 4.5.3.9 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.3 - SF3).....	73
Tabla 4.5.3.10 - Tiempos de producción (ESC.4 - SF4).....	74
Tabla 4.5.3.11 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.4 - SF4).....	75
Tabla 4.5.3.12 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.4 - SF4).....	76
Tabla 4.5.4.1 - Tiempos de producción (ESC.1 - SV1).....	77
Tabla 4.5.4.2 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.1 - SV1).....	78
Tabla 4.5.4.3 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.1 - SV1).....	79
Tabla 4.5.4.4 - Tiempos de producción (ESC.2 - SV2).....	80
Tabla 4.5.4.5 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.2 - SV2).....	81
Tabla 4.5.4.6 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.2 - SV2).....	81

Tabla 4.5.4.7 - Tiempos de producción (ESC.3 - SV3).....	82
Tabla 4.5.4.8 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.3 - SV3).....	83
Tabla 4.5.4.9 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.3 - SV3).....	84
Tabla 4.5.4.10 - Tiempos de producción (ESC.4 - SV4).....	85
Tabla 4.5.4.11 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.4 - SV4).....	86
Tabla 4.5.4.12 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.4 - SV4).....	87
Tabla 5.1.1 - Presupuesto Proyecto.....	88

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 4.2.2.1 - Cronograma del estado de las máquinas, posición robot y colas(FMFP)..	52
Gráfico 4.2.2.2 - Detalle del estado de la máquina 1, posición del robot (FMFP).....	53
Gráfico 4.2.2.3 - Detalle avería de la máquina 1 (FMFP).....	53
Gráfico 4.2.3.1 - Cronograma del estado de las máquinas, posición robot y colas (FIFO)...	60
Gráfico 4.2.3.2 - Detalle del estado de las máquinas, posición robot y colas (FIFO).....	60
Gráfico 4.2.3.3 - Detalle avería Máquina 2 (FIFO).....	61

1. PREFACIO

1.1 Presentación de la Compañía Metaldyne

Metaldyne es una empresa multinacional que suministra productos para la industria automovilística. Con la sede principal en los Estados Unidos, cuenta además con plantas de producción en distintos países de América, Europa y Asia.



Fig. 1.1.1. - Metaldyne: presente en 13 países

Es un suministrador y diseñador a nivel global de componentes metálicos y ensamblajes para aplicaciones del tren de potencia como motor de bielas, válvulas, engranajes, diferenciales, piñones, amortiguadores y las poleas del cigüeñal.

Con competencia básica en el trabajo de los metales, incluyendo forja en frío, forja caliente, metal en polvo y la fundición a presión de aluminio, Metaldyne se edifica sobre este fundamento con mecanizado de precisión y montaje para ofrecer los mejores productos de su clase.

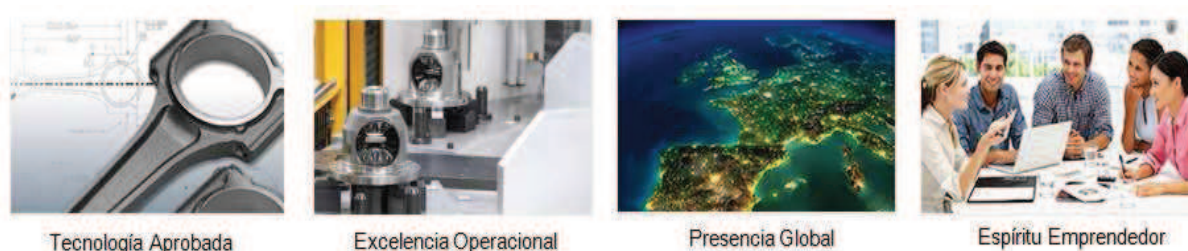


Fig. 1.1.2 - Metaldyne: visión y principios

Metaldyne ofrece soluciones de diseño a la puesta en marcha que reducen costes, peso, tiempo de ciclo y complejidad, mejorando también el rendimiento del vehículo. Con el respaldo de las capacidades de producción flexibles de alto volumen.

Cuenta con una plantilla de trabajadores de más de 4.000 personas en 26 instalaciones ubicada en 13 países con unos ingresos anuales de más de 1.000 millones de dólares.

La sede central : Metaldyne Global Headquarters

Es el centro de operaciones y se localiza en 47659 Halyard Dr. Plymouth, Estados Unidos.



Fig. 1.1.3 - Metaldyne Global Headquarters: Sede Central en EEUU.

Esta compañía cuenta con dos plantas localizadas en el territorio Español:

Metaldyne Sintered Components España, S.L.

Fábrica situada en Polígono Industrial Juan Carlos I, c/ La Granja,5. Almussafes, Valencia, junto a la factoría de Ford, en la que trabajan más de 70 personas.

Productos: Polvo de metal para bielas (diesel y gasolina).



Fig. 1.1.4 - Metaldyne Internacional S.L.: Sede Española de Valencia

Metaldyne International Spain, S.L. (anteriormente RJ Simpson Internacional S.L.)

Esta es la planta objeto de nuestro estudio y se encuentra ubicada en la calle Miquel Servet número 22-24 en la localidad de GAVA, provincia de Barcelona.

Empresa dedicada a la fabricación de componentes, piezas y accesorios para vehículos de motor, donde destacan los siguientes productos: Goma amortiguadores, Aislamiento Pulley.



Fig. 1.1.5 - Metaldyne Internacional S.L.: Sede Española en Barcelona

Esta empresa cree en el poder de las personas y las ideas. A través de la fuerza colectiva de sus empleados y diversos suministradores, lo que ha hecho de Metaldyne el proveedor de elección para los fabricantes de automóviles de todo el mundo.

2. INTRODUCCION

2.1 Objeto del proyecto

El objetivo del proyecto es analizar mediante la simulación basada en eventos discretos un sistema de fabricación flexible compuesto por máquinas alimentadas por un robot con el objetivo de encontrar la secuencia de la alimentación óptima. La cual nos permita reducir tanto los tiempos muertos de las máquinas como disminuir los costes de fabricación.

Mediante este proceso de mejora continua la empresa podrá maximizar la producción, reducir sus gastos y establecer unos precios de mercado con márgenes que le permitan crecer y seguir siendo competitiva.

2.2 Justificación

El estudio surge de una problemática real planteada por la empresa Metaldyne Internacional España S.L (empresa dedicada a la fabricación de componentes, piezas y accesorios para vehículos de motor) debido a la gran competencia del mercado y a la necesidad de optimizar sus procesos productivos.

El presente proyecto se realizará inspirado en los datos obtenidos de un análisis de los diferentes tiempos de trabajo de la empresa, mediante un sistema de control de tiempos (MTM). El cual nos permitirá, establecer los tiempos que consideraremos como predeterminados o iniciales para llevar a cabo las diferentes tareas del proceso de dicha fábrica y compararlos con tiempos alternativos.

De esta manera llegaremos al foco del problema: conocer los tiempos improductivos o muertos del sistema y que mediante este proyecto pretendemos reducir al máximo. Para lo cual utilizaremos la simulación basada en eventos discretos usando el programa Arena.

El estudio de un sistema de fabricación flexible mediante la aplicación de una herramienta informática "Programa Arena" que nos permitirá mejorar el rendimiento del sistema de fabricación.

2.3 Alcance

Para llevar a cabo los objetivos planteados anteriormente, se analizará el sistema a estudiar detalladamente, el cual está compuesto por tres máquinas paralelas idénticas de trabajo, con dos posiciones para palets intercambiables (una interna de mecanizado y otra externa de carga/descarga), y de un robot con base móvil que las alimenta.

Las máquinas sufren paradas por la necesidad de cambio de herramientas, no pudiendo ser cargadas/descargadas por el robot mientras el operario procede al cambio, por motivos de seguridad. Es importante que las máquinas no tengan tiempos muertos (que no tengan que esperar a que el robot las alimente sino que tengan siempre disponible una pieza en bruto para mecanizar), para maximizar la producción, por lo que la selección de la estrategia óptima de alimentación del robot es un punto clave.

La simulación basada en eventos discretos es un herramienta que permite evaluar el desempeño de los sistemas de fabricación, en los que normalmente hay varios flujos en paralelo, recursos compartidos, eventos aleatorios (como las averías) y actividades de duración variable (como las operaciones llevadas a cabo por operarios).

El proyecto estudiará el comportamiento del sistema descrito mediante la simulación basada en eventos discretos usando el programa ARENA. Constará de las siguientes partes:

- a) Modelado del sistema, determinación del transitorio, determinación del número de réplicas de la simulación, validación del modelo.
- b) Estudio de las posibles estrategias de alimentación y determinación de los parámetros a variar que son susceptibles de producir una mejora en el sistema (como los tiempos de trabajo y de viaje del robot).
- c) Simulación de las alternativas diseñadas.

3. DESCRIPCION DEL SISTEMA

3.1 Definición

La celda de producción que analizaremos está compuesto por tres máquinas paralelas idénticas de trabajo, tres plataformas giratorias (1 por máquina) con dos posiciones para palets intercambiables (una interna de mecanizado y otra externa de carga/descarga), un robot con base móvil que las alimenta y un conjunto de piezas.

Las máquinas se disponen entorno al robot, que se desplaza entre ellas a través de un riel con acceso en todo momento a las piezas (se consideran piezas inagotables). Las plataformas giratorias están situadas entre el robot y las máquinas.

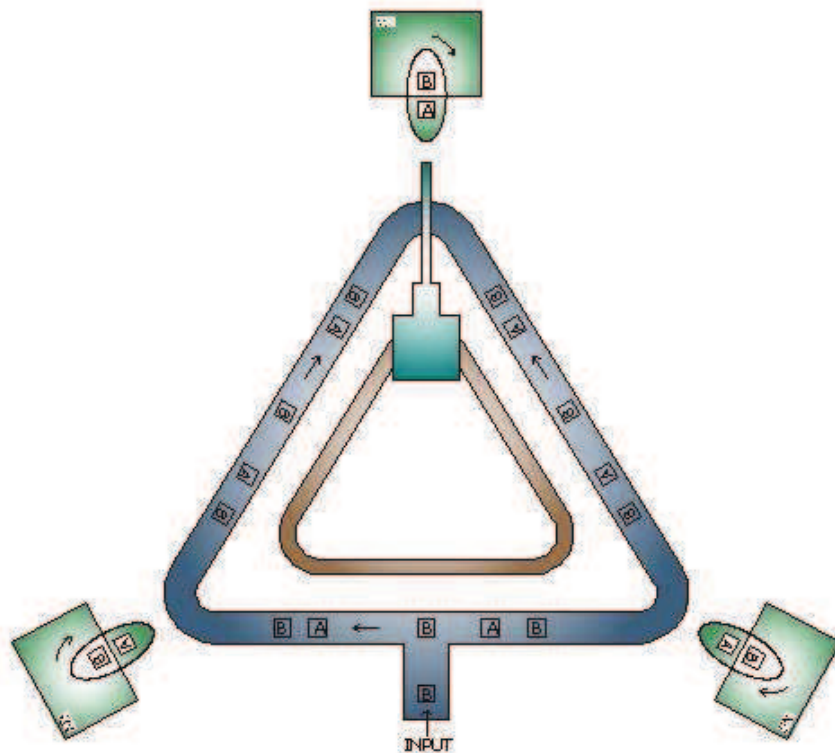


Fig. 3.1.1 - Estructura de la celda de fabricación

Las tres máquinas son iguales y trabajan en paralelo, se alimentan de piezas o componentes por medio del robot que realiza la carga de las mismas en las plataformas giratorias. Estas plataformas giratorias, localizadas en cada una de las máquinas tienen dos posiciones de trabajo. En un lado de la plataforma (palet interior) trabaja la máquina mientras que en el otro (palet exterior) el robot realiza la carga y descarga de las piezas.

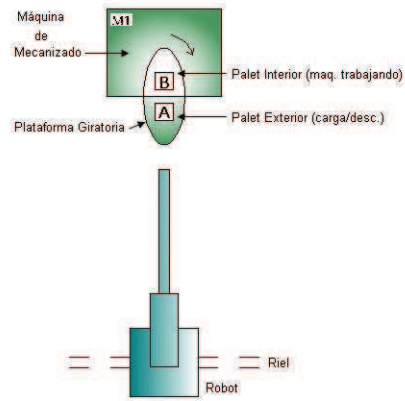


Fig. 3.1.2 - Detalle de la celda de fabricación

3.2 Establecimiento de tiempos

La producción de una pieza consta de dos operaciones diferentes A y B. La operación B se realiza necesariamente después de la A. Cada máquina realiza las dos operaciones A y B sobre las piezas a procesar con tiempos de proceso t_{wa} y t_{wb} respectivamente. En cada lado o palet, a los que llamaremos A y B, de la plataforma giratoria se realiza una operación o actividad.

El robot realiza su función desplazándose de una máquina a otra para las operaciones de carga y descarga. Por la posición de las máquinas de mecanizado con respecto a la posición central del robot, el tiempo de desplazamiento o de viaje del mismo (t_v) es el mismo para abastecer a cualquiera de las tres máquinas.

El tiempo que tarda el robot en cargar y descargar un palet es diferente según el tipo de operación (A o B) que se haga en la pieza (t_{la} y t_{lb} respectivamente).

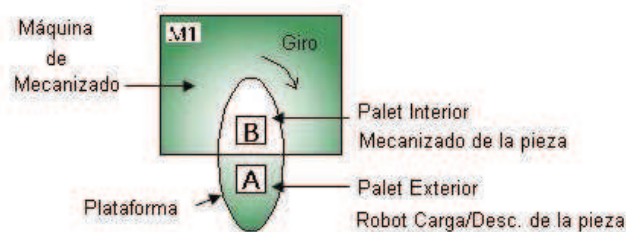


Fig. 3.2.1 - Detalle de la Plataforma de Mecanizado

Se considera un abastecimiento constante de piezas en la línea de producción, para las operaciones A y B. El tiempo de acceso a las piezas que circulan por la cinta transportadora está incluido en el tiempo de carga y descarga.

El robot queda libre una vez que ha cargado el palet pero antes de girar la plataforma la pieza debe sujetarse con unas bridas y esta operación requiere un tiempo diferente según se trate de piezas para la operación A o B (t_{ca} y t_{cb} respectivamente).

Las plataformas requieren un tiempo de giro (t_t). Después del giro de la plataforma se requiere un tiempo para abrir las bridas que sujetan la pieza mecanizada antes de que el robot pueda reponerla. El tiempo necesario para abrir las bridas es el mismo tanto se trate de piezas con la operación A o B (t_{oa} y t_{ob} respectivamente).

En nuestro proyecto determinamos como Tiempo Total de Giro (TT) a la suma del tiempo necesario para abrir bridas ($t_{o_{a,b}}$) más el tiempo de giro de la plataforma (t_t).

$$TT = t_{o_{a,b}} + t_t$$

Cada máquina usa unas 25 herramientas diferentes para las operaciones A y B. Estas herramientas deben reemplazarse tras un número de operaciones. Como cada herramienta tiene un ciclo de vida diferente se ha estimado una distribución uniforme para definir la frecuencia de cambio de herramienta. Cada máquina debe sacarse de línea para hacer los cambios de herramienta. El tiempo entre cambios varía aleatoriamente entre valores conocidos.

Cuando una máquina, tras el mecanizado de la operación A, requiere cambio de herramientas deja de estar operativa hasta que el operario cambie las herramientas y verifique la última pieza fabricada (t_r). El mismo efecto se produce para la operación B en cada máquina.

3.2.1 Nomenclatura

t_{wa} , t_{wb} : Tiempo de mecanizado palet A y B

t_{la} , t_{lb} : Tiempo de carga y descarga de los palets A y B

t_{ca} , t_{cb} : Tiempo de cerrar bridas, utillaje A y B

t_{oa} , t_{ob} : Tiempo de abrir bridas, utillaje A y B

t_t : Tiempo de giro de la plataforma

t_v : Tiempo de desplazamiento del robot

t_s : Frecuencia de paro máquina por cambio de herramienta (tpo. entre averías)

t_r : Tiempo de cambio de herramienta por parte del operario

TT: Tiempo Total de Giro

3.2.2 Tiempos predeterminados de producción

TIEMPOS			
Nombre	Abrev.	Valor Inicial	
Mecanizado palet A	twa	3,00	min.
Mecanizado palet B	twb	4,00	min.
Desplazamiento del robot - Tpo. de Viaje	tv	0,70	min.
Carga/Descarga palet A	tla	0,85	min.
Carga/Descarga palet B	tlb	0,95	min.
Cierre de Bridas utilaje A	tca	0,50	min.
Cierre de Bridas utilaje B	tcb	0,55	min.
Giro Total de la Plataforma	TT	0,45	min.
Frecuencia de paro máq. por cambio de herramienta - Tpo.entre averías	ts	30-150	min.
Cambio de herramienta por parte operario	tr	3-6	min.

Tabla 3.2.2.1 - Tiempos de producción de la fábrica Metaldyne S.L.

3.3 Problemas

En el actual proceso productivo de la empresa se ha detectado un gran porcentaje de tiempos muertos situación que de no tomar medidas irá en aumento. Estos tiempos improductivos deberán ser analizados para determinar su influencia en el coste de los productos y con ello en la competitividad de la empresa.

Por lo que, el problema a resolver es que las máquinas reduzcan al máximo los tiempos muertos para maximizar la producción, siendo para ello, necesario determinar la estrategia óptima de alimentación del robot.

Para la resolución de dicho problema, este proyecto estudiará el comportamiento del sistema descrito mediante la simulación basada en eventos discretos usando el programa ARENA, cuyos resultados nos permitirá hallar la secuencia de la alimentación óptima en términos de reducir los tiempos muertos de las máquinas y maximizar la producción.

3.4 Estrategias de Alimentación planteadas

Las estrategias consideradas para la simulación la dividimos entre aquellas que tienen una secuencia fija y las que tienen una secuencia variable.

3.4.1 Estrategias de alimentación con secuencia fija

Estrategia FMFP (Fixed machine and fixed pallet)

Secuencia de máquina fija y palet fijo. La secuencia de alimentación de la máquina realizada por el robot es M1-M2-M3, alimentando éste primero al palet A de todas las máquinas, y en el siguiente paso, todos los palets B.

Esta secuencia prioriza tanto la máquina como el palet a alimentar, en casa de estar la máquina ocupada o averiada el robot espera.

Secuencia : M1PA, M2PA, M3PA, M1PB, M2PB, M3PB, M1PA, ...

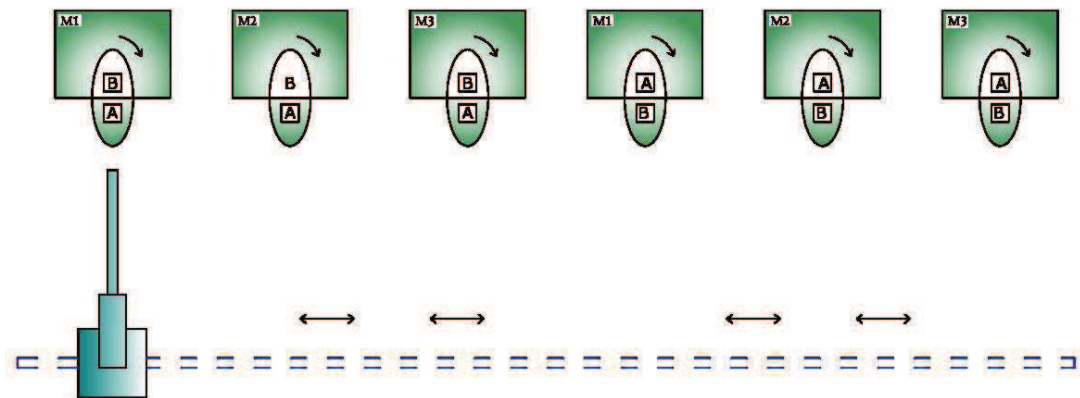


Fig. 3.4.1.1 - Secuencia de Alimentación FMFP

3.4.2 Estrategias de alimentación con secuencia variable

Estrategia FIFO (First In First Out)

Secuencia de alimentación de las máquinas de acuerdo a las maquinas que se encuentren listas para ser cargadas. La secuencia de alimentación de las máquinas, realizada por el robot depende de la cola de las máquinas.

El robot alimenta siempre a la máquina que entra primero en la cola. Después de que se hayan cerrado las bridas del palet exterior y se ha terminado el mecanizado en el palet interior, una máquina se suma a esta cola en el momento en que su plataforma giratoria está lista para rotar.

Una vez se ha cargado y descargado una máquina, esta sale de la cola.

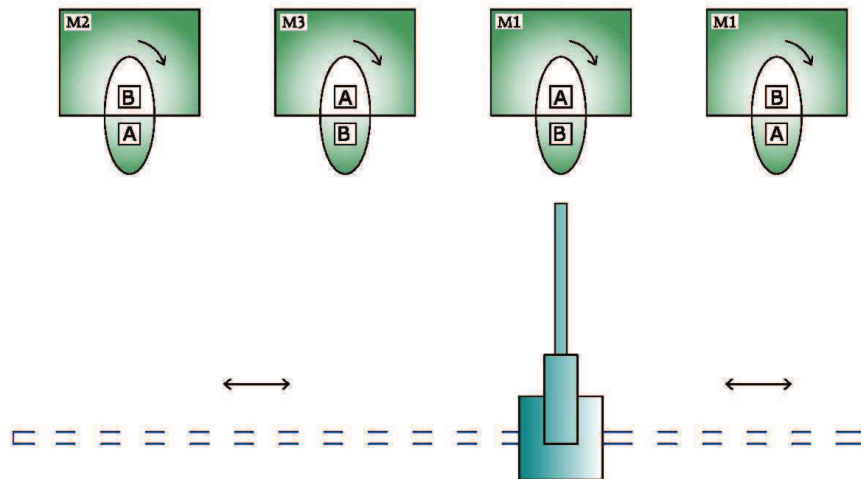


Fig. 3.4.2.1 - Secuencia de Alimentación FIFO

3.5 Posibles soluciones

3.5.1 Planteamiento general

La primera estrategia de alimentación, secuencia de máquina fija y palet fijo (**FMFP**), es la estrategia implementada actualmente en la celda real.

En este proyecto nos hemos inspirado en datos obtenidos en la fábrica, hemos planteado dos tipos de estrategias de alimentación y estudiado diferentes escenarios para cada una de ellas. Para resolver el problema en cuestión, deberemos analizar los resultados y determinar la estrategia óptima de alimentación del sistema.

Finalmente, con los datos estadísticos obtenidos con el software aplicado (Versión Académica de Arena) realizaremos un estudio comparativo entre estrategias.

3.5.2 Estrategia FMFP (Fixed machine and fixed pallet)

FMFP esta es la estrategia que actualmente utiliza la fábrica, el origen de la problemática planteada por la empresa. Analizaremos los resultados para realizar una comparativa general, a pesar de que se considera una secuencia demasiado estricta que limita o fija la actividad tanto de la máquina como del palet.

3.5.3 Estrategia FIFO (First In First Out)

FIFO, es la estrategia variable y de mayor flexibilidad que se plantea.

3.6 Metodología de Resolución

Después de determinar las estrategias a comparar, se debe acotar el campo de estudio con los diferentes escenarios a analizar.

Los parámetros del sistema real que modificaremos son los *tiempos de mecanizado* de las piezas (t_{wa} y t_{wb}). También modificaremos para analizar el comportamiento del sistema: el *tiempo de viaje del robot* (t_v), *frecuencia de paro por cambio de herramienta* o el tiempo en el que se producen las averías de las máquinas (t_s) y *el tiempo de reparación por parte del operario* (t_r).

Consideramos que su variación podría mejorar tanto los tiempos muertos del sistema como la producción de la fábrica.

3.7 Conceptos Generales y Herramientas Aplicadas

3.7.1 Sistemas de Producción Integrados (CIM)

Son sistemas de producción que tienen como objetivo el control de todo el conjunto del sistema de producción, desde el marketing hasta la distribución del producto, su diseño y la planificación de la producción a través de:

- a. La aplicación de computadores
- b. La integración de la información de dirección, ingeniería y producción.

Para la implantación de un CIM se requiere:

- a. Una estrategia de control basada en una red de computadores y el uso de máquinas y dispositivos controlables por computador.
- b. Técnicas avanzadas de fabricación basadas en un alto grado de automatización y una considerable flexibilidad y productividad del sistema.

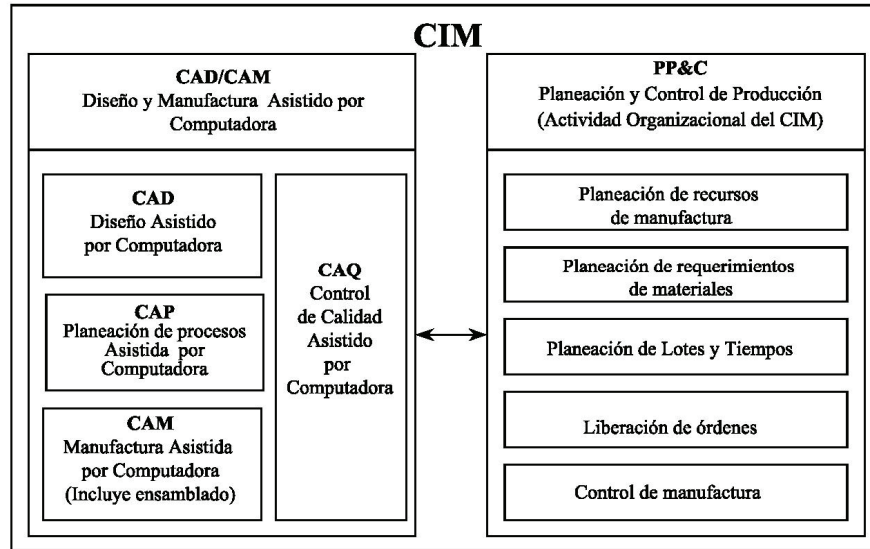


Fig. 3.7.1.1 - Esquema funcional de un Sistema de Manufactura integrada por Computadora

Análisis y diseño de los sistemas CIM

a. Análisis cualitativo es la evaluación de la corrección del sistema y se puede realizar mediante el estudio de las Redes de Petri:

- ✓ Ausencia de bloqueos
- ✓ Recuperación de errores
- ✓ Acotación

b. Análisis cuantitativo es la evaluación de las prestaciones del sistema y se puede realizar mediante la simulación basada en eventos discretos:

- ✓ Capacidad
- ✓ Tiempo de procesamiento
- ✓ Propiedades de utilización

3.7.2 Sistemas de Fabricación Flexible (FMS)

Son sistemas de producción formados por un conjunto de máquinas interconectadas mediante un sistema automático de transporte y supervisadas por un computador. Lo que permite controlar la realización de diversas tareas a diferentes piezas, sin tener que interrumpir el proceso de fabricación para la reequipación del conjunto. Y cuyo objetivo es poder servir a un mercado cada vez más cambiante en el mínimo tiempo y al menor coste posible.

Organización funcional

Configuración física:

- ✓ Estaciones de trabajo (máquinas CNC, robots, ...)
- ✓ Estaciones de carga y descarga.
- ✓ Elementos de transporte.
- ✓ Palets, fijaciones, herramientas.
- ✓ Almacenes reguladores / Almacenes centrales.
- ✓ Red de computadores.

Configuración informática:

- ✓ Control distribuido.
- ✓ Cuatro niveles:
 - N1: Control de máquinas y periféricos
 - N2: Administración y supervisión de N1. Distribución de los datos para el control de las máquinas.
 - N3: Control y coordinación del plan de producción. Distribución de la carga entre grupos de máquinas .
 - N4: Gestión. Elaboración del plan de producción.

Planificación, aspectos del diseño de FMS:

- ✓ Piezas: qué piezas, nº y tipos de operaciones a realizar, como fijarlas, colocarlas y asignarlas a los palets y a las fijaciones, número de palets y de fijaciones.
- ✓ Máquinas: qué máquinas, cuántas, cómo agruparlas, asignación de herramientas a cada máquina.
- ✓ Operaciones: herramientas necesarias para cada operación, duración.
- ✓ Transporte: tipos, nº de vehículos.

Planificación, aspectos operacionales de los FMS:

- ✓ Determinación de la secuencia de operación
- ✓ Asignación de Herramientas y fijaciones
- ✓ Almacenes: capacidad y organización
- ✓ Agrupación de las piezas en los palets
- ✓ Secuencia de los movimientos de los vehículos

3.7.3 Redes Petri: Definición e interpretación

Las redes petri son un formalismo matemático basado en objetivos simples, relaciones y reglas que permiten representar comportamientos complejos.

Sirven especialmente para representar sistemas basados en eventos discretos que tienen evoluciones en paralelo y comportamientos caracterizados por la sincronización y la utilización de recursos compartidos.

El modelo en red petri de un sistema dinámico consta de dos partes: la estructura y el marcado.

Estructura

La estructura de la redes petri ordinarias, que representa la parte estática del sistema:

$$N = P, T, F, W$$

Donde:

P: conjunto de lugares (places) que representan el estado del sistema.

T: conjunto de transiciones (transitions) que representan el cambio de estado.

$$P \cap T = \emptyset$$

F = Relación de flujos (conjunto de arcos dirigidos) $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$

W = Ponderación W: $F \rightarrow +$

El marcado que representa el estado distribuido del sistema, es asignar a cada lugar un número determinado de marcas (tokens). La dinámica de la red representa la evolución del marcado a lo largo del tiempo. Esta evolución se define a través de la regla de ocurrencia o disparo conocida como juego de marcas ("token game").

Los lugares de una Red Petri representan:

- ✓ Actividades: una marca en el lugar significa que una actividad se está produciendo.
- ✓ Recursos: un número determinado de marcas indica el número de recursos disponibles. Cuando el lugar no está marcado indica que el recurso no está disponible. Se clasifican en:
 - a. Recursos Fijos (máquinas, robots, etc.)
 - b. Recursos Variables (palets, fijaciones, etc.)

Las transiciones representan el inicio o fin de una operación.

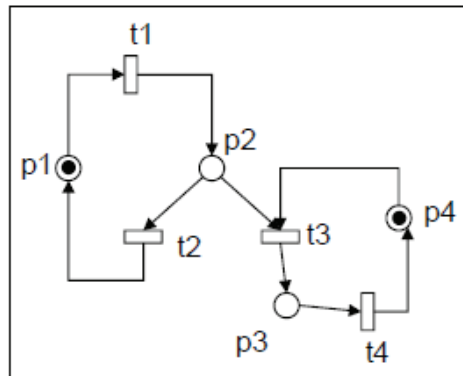


Fig. 3.7.3.1 - Ejemplo Estructura de Red Petri

Al conjunto P se le llama conjunto de lugares, al conjunto T conjunto de transiciones y a F relación de flujos. F relaciona lugares con transiciones en forma de arcos entre lugares y transiciones o entre transiciones y lugares. En este proyecto, supondremos que las redes con las que trabajaremos son finitas (los conjuntos P y T son finitos).

Las redes de Petri pueden representarse gráficamente por medio de grafos bipartitos, que son grafos que constan de dos tipos de nodos (lugares y transiciones). Los lugares se representan con círculos y las transiciones con rectángulos.

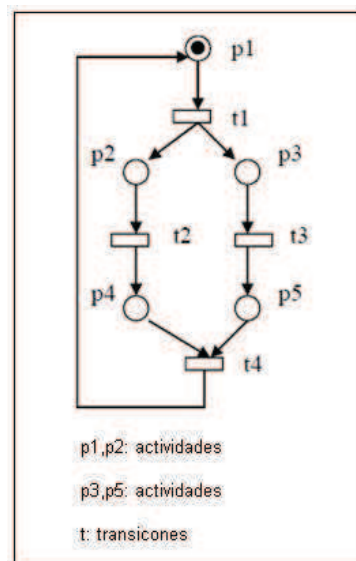


Fig. 3.7.3.2 - Ejemplo Red Petri: actividades y transiciones

Propiedades cualitativas: Acotación, Vivacidad y Reversibilidad

Acotación ("boundness"):

La cota de un lugar es el número máximo de marcas que puede tener, si esta cota es 1 el lugar se define como seguro.

Un sistema tiene la propiedad de acotación si la cota de todos sus lugares es finita.

Un sistema acotado tiene un espacio de estados finitos.

Si un sistema está acotado para cualquier marcado inicial, se define estructuralmente como acotado.

Un sistema de fabricación acotado significa que la capacidad de sus recursos está controlada.

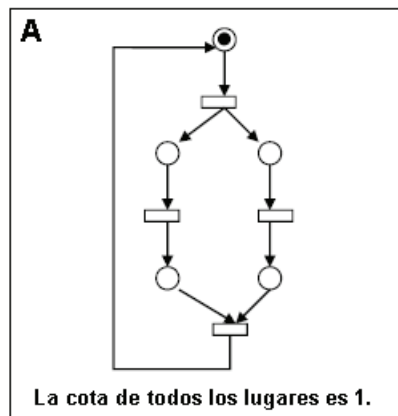


Fig. 3.7.3.3 - Ejemplo de Red Petri Acotada

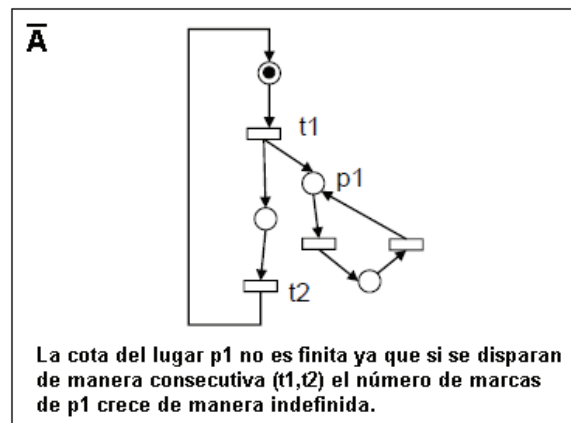


Fig. 3.7.3.4 - Ejemplo de Red Petri No Acotada

Vivacidad ("liveness"):

Una transición es viva si no pierde la posibilidad de ser disparada, es decir que desde cualquier marcado existe una secuencia de disparos que habilita la transición.

Un sistema tiene la propiedad de vivacidad si todas sus transiciones son vivas.

Un sistema es estructuralmente vivo si existe al menos un marcado inicial que lo haga vivo.

Un marcado de bloqueo es un marcado desde el que no se puede disparar ninguna transición. Un sistema con bloqueos es por lo tanto un sistema que no es vivo, es un sistema en el que ninguna de sus transiciones es viva.

Un sistema de fabricación vivo significa que los eventos asociados a las transiciones nunca pierden la posibilidad de ocurrir.

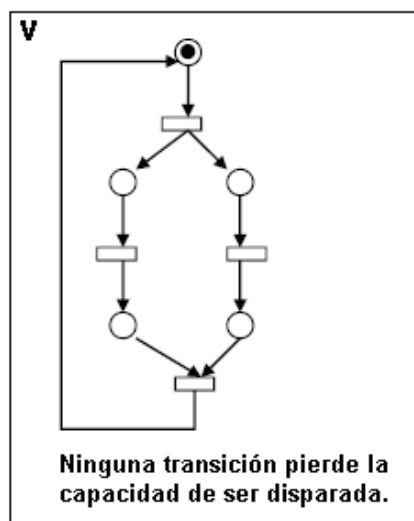


Fig. 3.7.3.5 - Ejemplo de Red Petri Viva

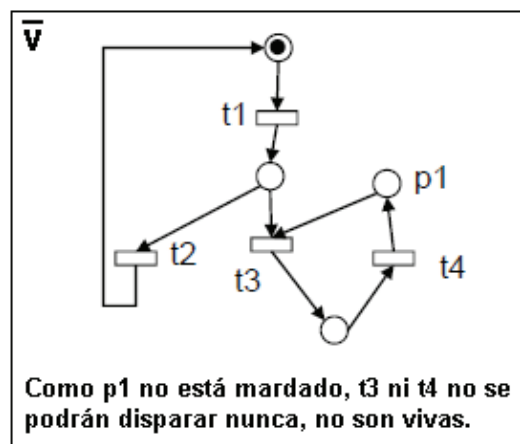


Fig. 3.7.3.6 - Ejemplo de Red Petri No Viva

Reversibilidad ("Reversibility"):

Un sistema es reversible si desde cualquier marcado se puede volver al marcado inicial.

Si un sistema tiene bloqueos no es reversible.

Un sistema de fabricación es reversible significa que desde cualquier estado de error al cual se puede llegar, es posible reiniciar el sistema.

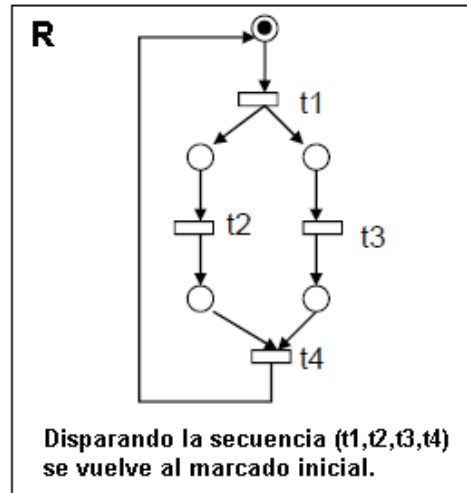


Fig. 3.7.3.7 - Ejemplo de Red Petri Reversible

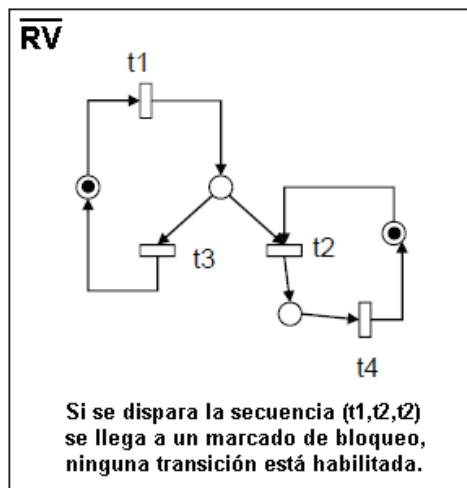


Fig. 3.7.3.8 - Ejemplo de Red Petri No Reversible

3.7.4 Las Redes Petri y la Fabricación Flexible

Características del modelado con Redes de Petri

Las características principales para el uso de Redes de Petri en sistemas de fabricación son:

- ✓ Tienen la habilidad de representar de manera fácil la concurrencia, la causalidad, la sincronización, los recursos compartidos, los conflictos.
- ✓ El diseño se puede realizar modular (bottom-up) o jerárquico (top-down).
- ✓ La representación gráfica facilita la documentación y la monitorización.
- ✓ La semántica formal y precisa permite un riguroso análisis, así como la automatización de la generación de código para el control o para la simulación.
- ✓ Existe la posibilidad de asociar a los objetos del modelo un amplio rango de significados diferentes, lo que permite tener una herramienta común para las diferentes fases del diseño y operación de los sistemas de fabricación flexible (planificación, scheduling, control en tiempo real).
- ✓ Facilidad de representar la flexibilidad en los sistemas.

3.7.5 Programa PIPE

En nuestro proyecto hemos utilizado el programa PIPE que nos ha permitido construir la Red de Petri de todo el proceso de la celda de fabricación. Determinando las diferentes fases y actividades, los recursos compartidos, las sincronizaciones y las bifurcaciones del sistema objeto de estudio.

A partir de esta Red Petri diseñaremos más adelante nuestro modelo.

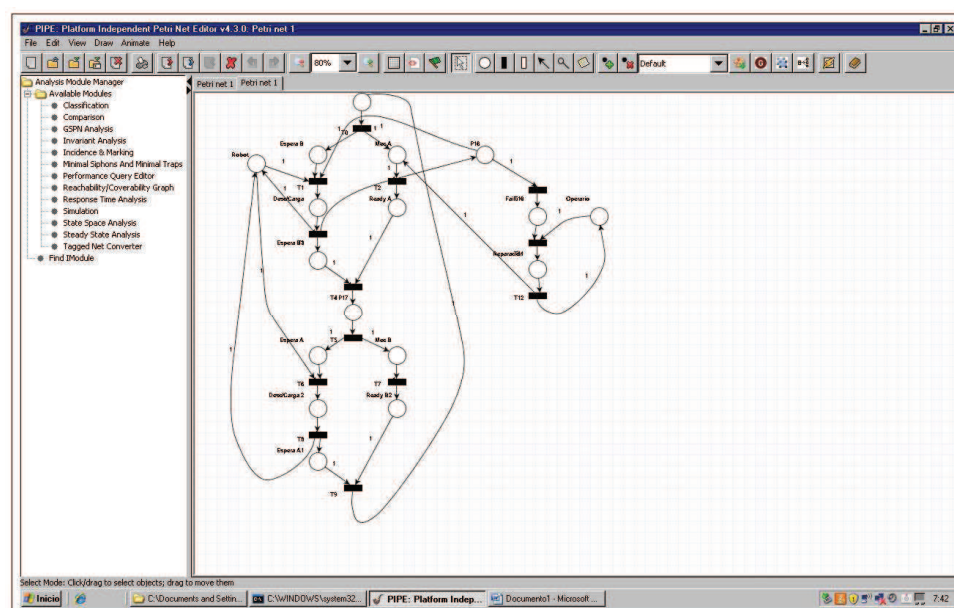


Fig. 3.7.5.1 - Ejemplo Programa PIPE

3.7.6 Simulación

La simulación basada en eventos discretos: Análisis cuantitativo

Persigue evaluar la eficiencia del sistema, es decir las propiedades o prestaciones del sistema como son el grado de utilización de los recursos (longitud de las colas, tiempo de las colas, grado de utilización de las máquinas, capacidad de los almacenes,...) la capacidad del sistema (número de piezas en el sistema, producción,...), etc.

Para realizar este análisis se puede utilizar la simulación basada en eventos discretos.

El modelo depende del lenguaje de simulación que se use (ejemplo Arena) y se puede deducir a partir de la red de Petri correspondiente.

La herramienta de la simulación

La simulación es la limitación del funcionamiento del sistema del mundo real a lo largo del tiempo, mediante la generación de una historia artificial del sistema y de su observación, con el objetivo de inferir en las características operacionales del sistema real.

Para hacer una simulación se ha de hacer un modelo del sistema, que normalmente toma la forma de un conjunto de asunciones sobre la operativa del sistema expresadas como relaciones matemáticas lógicas o simbólicas entre las entidades u objetos de interés del sistema.

Concepto de Sistema

Un sistema es un conjunto de componentes agrupado para interactuar conjuntamente para cumplir un determinado objetivo. La frontera entre el sistema y su entorno depende del objetivo de estudio.

Tipos de sistemas

Los sistemas en que el estado evoluciona a lo largo del tiempo se llaman sistemas dinámicos. En función de cómo es esta variación, se categorizan en:

- a. Sistemas discretos: las variables de estado cambian solo en un conjunto discreto de instantes. Cuando la secuencia de estos instantes en que varía el estado obedece a un patrón aleatorio, se llama sistema orientado a eventos discretos.
- b. Sistema continuo: las variables cambian a lo largo del tiempo.

Según el sistema contenga variables aleatorias o no, el sistema se clasifica en:

- a. Sistema determinista: no tiene variables aleatorias y por lo tanto un conjunto de entrada da un único conjunto de salida. El presente proyecto se encuentra incluido en este tipo de sistema.

Sistema de fabricación

Un sistema de fabricación es un sistema de producción donde los materiales manipulados son entidades discretas (partes que son mecanizadas o montadas). Los sistemas de fabricación son sistemas dinámicos, discretos y estocásticos. Además son altamente paralelos y distribuidos.

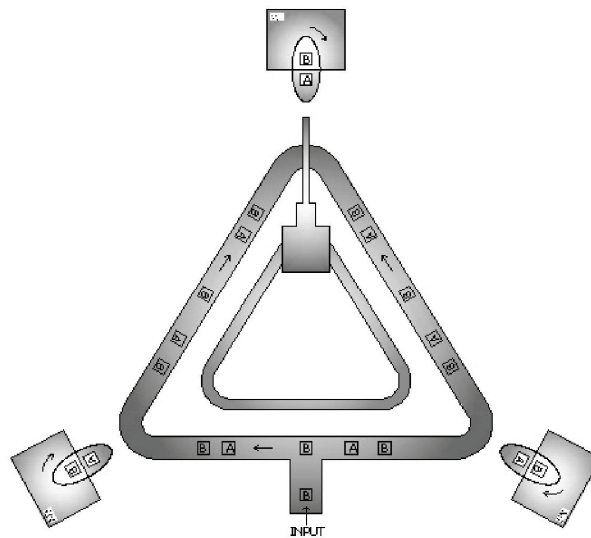


Fig. 3.7.6.1 - Ejemplo de Sistema de Fabricación

Componentes de un sistema

Entidad: objeto de interés del sistema (piezas, máquinas, robots, etc.)

Atributo: propiedad de una entidad (atributo de las piezas: tipo/estado, atributos de las máquinas: libre/averiada, etc.)

Actividad: período en el que interactúan dos o más entidades (mecanizado, etc.)

Estado: colección de variables que describen la situación del sistema (llegada de una pieza, avería, etc.)

Concepto del Modelo

Un modelo es una representación del sistema con el objetivo de estudiarlo. El modelo del sistema sólo contendrá los elementos relevantes para el estudio. Para los sistemas de fabricación se usan modelos dinámicos, discretos y estocásticos.

Ventajas y desventajas de la simulación

Ventajas

- ✓ Se pueden probar nuevas políticas y modos de funcionamiento sin parar el sistema real.
- ✓ Se pueden probar nuevos diseños del sistema sin adquirir los recursos que involucra.
- ✓ Se pueden verificar las hipótesis sobre el funcionamiento del sistema.
- ✓ Se pueden obtener conocimientos sobre interacción entre variables.
- ✓ Se pueden analizar cuellos de botella.
- ✓ Se pueden responder preguntas del tipo "qué pasa si..."

Desventajas

- ✓ La construcción de modelos requieren un entrenamiento especial. Pero el software especializado lo facilita.
- ✓ Los resultados son difíciles de interpretar. Pero el software actual incorpora capacidades de análisis de resultados.
- ✓ La simulación puede ser larga y cara. Pero el hardware cada vez es más potente y barato.
- ✓ A veces se puede encontrar una solución analítica que es mejor. Pero eso solo pasa en sistemas muy sencillos, que no son los sistemas reales.

En sistemas de fabricación la simulación es útil para:

a. Analizar la necesidad y la cantidad de recursos

- ✓ Número y tipo de máquinas
- ✓ Número y tipo de sistemas de transporte
- ✓ Posición y capacidad de los almacenes
- ✓ Evaluación del comportamiento con nuevos productos
- ✓ Evaluación del comportamiento si hay nuevos productos

b. Evaluación de los procedimientos operacionales

- ✓ Planificación de la producción (medida de los lotes, secuencia,...)
- ✓ Políticas sobre nivel de inventario.
- ✓ Estrategias de control de los vehículos.
- ✓ Políticas de control de calidad.

En cualquier de los dos apartados anteriores, el comportamiento del sistema se evalúa con:

- ✓ El grado de utilización de los equipos.
- ✓ El volumen de salida.
- ✓ Los cuello de botella.
- ✓ El tiempo que las piezas están en la cola, esperando el transporte, siendo transportadas,...
- ✓ La proporción de tiempo que las máquinas están averiadas o esperando al operario.

Pasos en un estudio de simulación

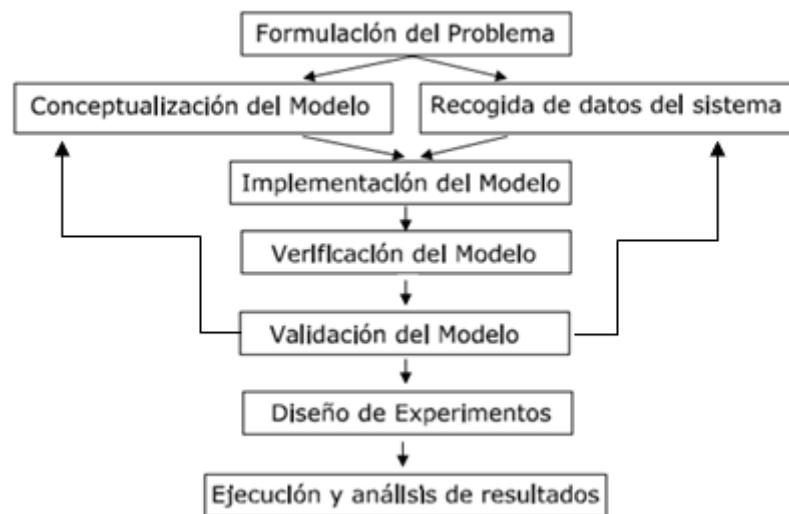


Fig. 3.7.6.2 - Pasos en un Estudio de Simulación

3.7.7 Programa ARENA

El programa Arena es un modelo de simulación por ordenador que nos ofrece un mejor entendimiento y las cualidades del sistema, ya que además de representar el sistema efectúa también automáticamente diferentes análisis del comportamiento.

El software está formado por módulos de lenguaje (lenguaje de simulación).

Este programa combina las ventajas de los simuladores de alto nivel con la flexibilidad de lenguajes generales como Microsoft (Visual Basic, Excel, etc.)

Incluye también animaciones dinámicas en el mismo ambiente del trabajo con apoyo integrado, incluyendo gráficas para los diseños estadísticos y analiza aspectos que son parte del estudio.

Aplicaciones

Se centran en el análisis de procesos de gestión administrativa y servicios en seguros, banca o finanzas, o flujos y procesos de fabricación no intensivos en manejo de materiales. Abarcan campos diversos, destacando el análisis de sistemas de producción y logística industrial, distribución, nodos de transporte y almacenaje, servicios, así como logística integral y el análisis de toda la cadena de suministro.

Está especialmente indicado en el análisis de líneas de fabricación y envasado/empaquetado de grandes velocidades de producción, que son fundamentales en industrias de alimentación y bebidas, industria farmacéutica, química y cosméticos, e industria electrónica.

Permite evaluar el ROI asociado a la implantación de nueva tecnología y equipos de proceso, validar el diseño de líneas, evaluar mejor las en líneas existentes.

Ventajas

- ✓ Es una poderosa herramienta de simulación.
- ✓ Comprende una estructura amigable.
- ✓ Los utilitarios que brinda son de fácil uso.
- ✓ Cuenta con enorme capacidad gráfica.
- ✓ Ofrece gran versatilidad.
- ✓ Es compatible con productos de Microsoft Office.

Desventajas

- ✓ Difícil de convertir un modelado en Arena en otro programa de simulación.
- ✓ Las ediciones para estudiantes tienen muchas limitaciones.
- ✓ La documentación y ayuda en estos ejemplos es poca y no muy clara.

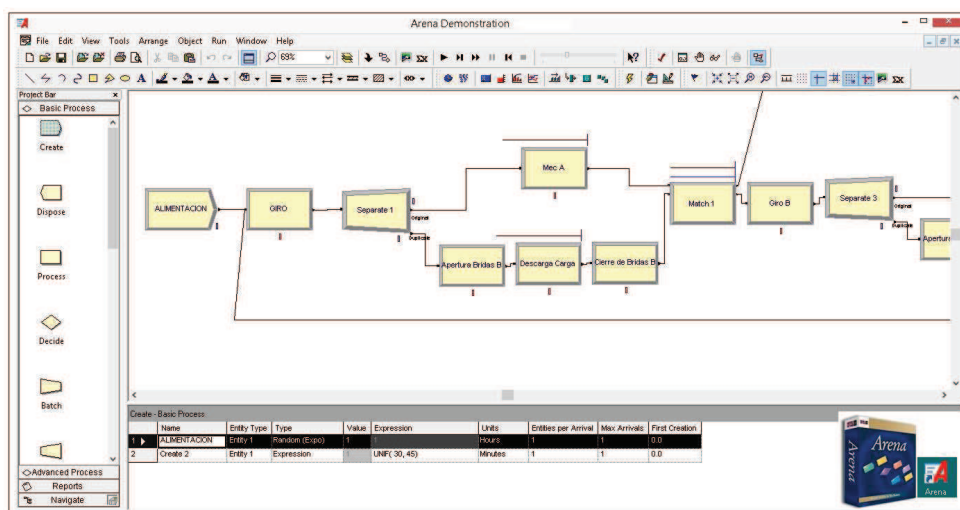


Fig. 3.7.7.1 - Ejemplo Programa ARENA

4. MODELADO

Modelar un sistema real consiste en reflejar de la manera más exacta y más fiel posible el funcionamiento de un proceso de fabricación real. Para conseguir este objetivo, se establecen dos campos de acción diferentes:

- ✓ El funcionamiento y lógica del modelo.
- ✓ El aspecto físico del modelo.

El funcionamiento y la lógica del modelo deben ser lo más parecidos posible a los del proceso real. Esta condición es indispensable para poder confiar en las salidas del modelo y que estas sean una fiel imagen de las del sistema real. En algún caso se pueden realizar simplificaciones respecto al caso real que no afecten a la validez de los resultados. Para confirmar este hecho se habrá de llevar a cabo un estudio que lo confirme.

La similitud del aspecto físico del modelo con el aspecto del sistema real no es una condición necesaria para obtener un modelo válido. Pero es cierto que a la hora de modificar el modelo o presentar el trabajo realizado a personas ajenas al uso del software, un buen parecido con la realidad ayudará a la validación y comprensión del modelo.

4.1 Modelado mediante Redes de Petri

Realizamos el modelado mediante Redes de Petri inspirados en el sistema actual de la empresa Metaldyne, obteniendo el siguiente gráfico:

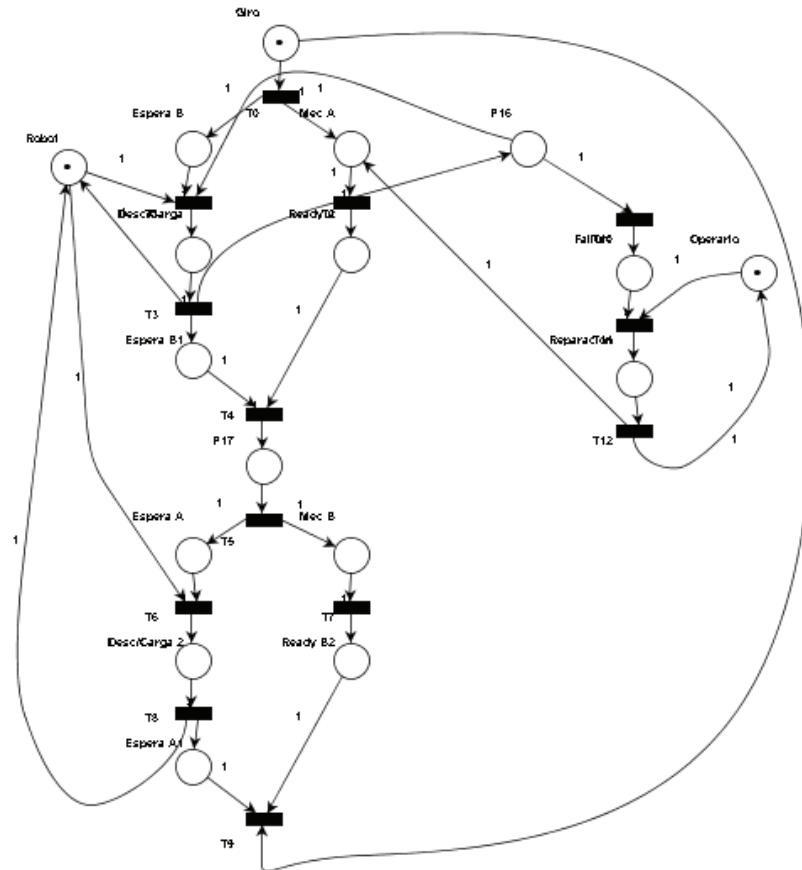


Fig. 4.1.1 - Modelado mediante Red de Petri - Programa PIPE

Del análisis realizado del sistema productivo de la empresa y según las propiedades cualitativas antes mencionadas de las Redes de Petri, nuestro sistema se clasifica como:

- ✓ Un sistema está Acotado, el espacio de estados es finito, es decir, si tiene todos los lugares acotados (número máximo de marcas).
- ✓ Un sistema está Vivo, desde cualquier marcado que se pueda alcanzar existe una secuencia de disparos que habilita cualquier transición del sistema.
- ✓ Un sistema que no tiene bloqueos, una restricción más débil que la vivacidad ya que sólo verifica que una transición se pueda disparar.
- ✓ Un sistema Reversible, desde cualquier marcado que se pueda alcanzar, se puede volver al marcado inicial. Si un sistema tiene bloqueos, no es reversible.

4.2 Modelado ARENA

4.2.1 Proceso de trabajo

Para realizar un diseño adecuado del modelo, hemos llevado a cabo un proceso de trabajo que incluye propuestas de alimentación del sistema con diferentes escenarios, hasta obtener la solución óptima para modelar nuestro sistema de producción.

A pesar de algunas limitaciones de la capacidad de la versión académica de Arena, utilizamos la máxima cantidad de bloques posibles para obtener los resultados requeridos para nuestro proyecto.

Primero modelamos el funcionamiento de una máquina del sistema, definiendo sus fases y tiempos de trabajo, le asignamos la cantidad de bloques del programa Arena que nos permita reflejar el sistema real de la línea de producción. Siempre teniendo en cuenta, que aún nos faltará modelar dos máquinas más.

Luego de varias combinaciones y de resolver todos los problemas encontrados por el camino obtenemos un modelo que representa fielmente el funcionamiento de una máquina.

Con una máquina trabajando, triplicamos el modelo y a partir de aquí comienza nuevamente, una serie de pruebas hasta lograr la correcta conexión entre las tres máquinas. Se definen variables, recursos, estados, estrategias de alimentación hasta lograr que el sistema, ahora compuesto por tres máquinas, funcione adecuadamente y nos proporcione toda la información posible.

En este apartado explicamos de forma resumida el proceso de modelado con Arena. El proceso se complementa con los documentos que se exponen en el Anexo 1.

4.2.2 Estrategia FMFP

Recordamos, que para diseñar este modelo la estrategia que sigue el robot para alimentar a las máquinas es una secuencia fija. Es decir, secuencia de máquina fija y palet fijo, es la estrategia que actualmente utiliza la fábrica y el origen de la problemática planteada por la empresa.

La secuencia de alimentación de la máquina realizada por el robot es M1-M2-M3, alimentando éste primero al palet A de todas las máquinas, y en el siguiente paso, todos los palets B. Secuencia : M1PA, M2PA, M3PA, M1PB, M2PB, M3PB, M1PA, ...

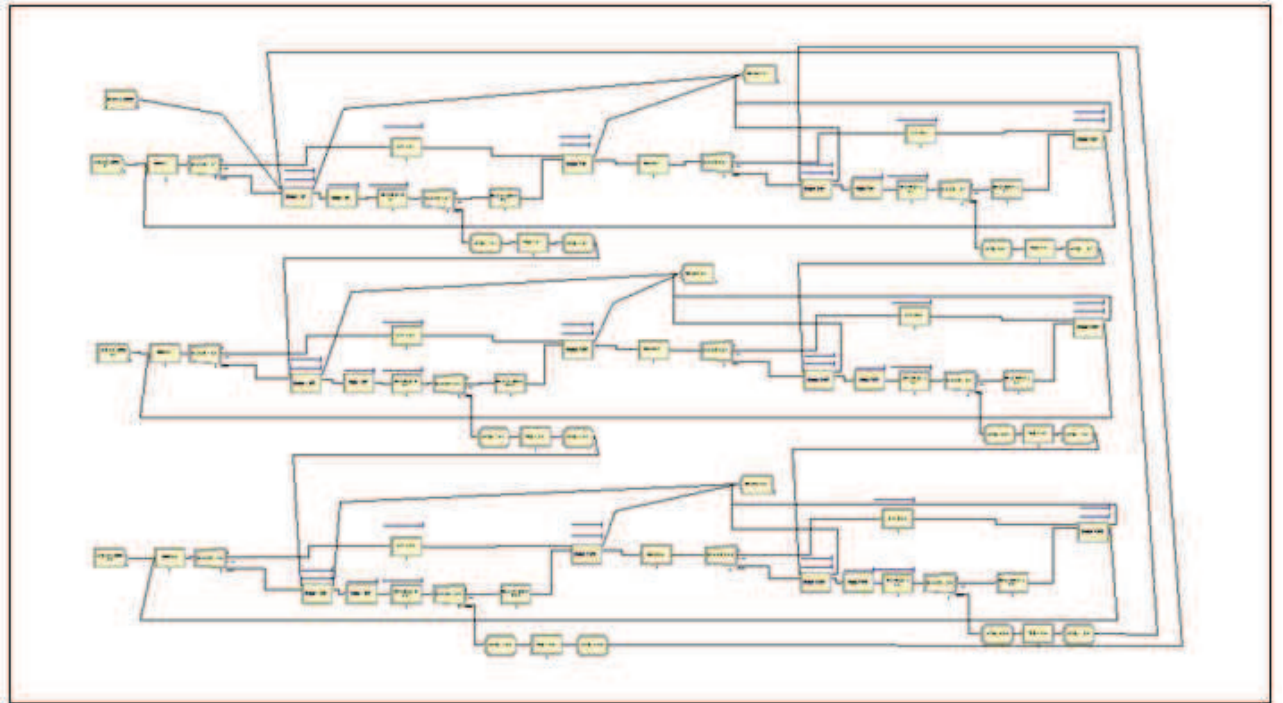
a. Valores Predeterminados

Nuestro proyecto se ha inspirado en datos obtenidos de la fábrica Metaldyne S.L., a los que llamaremos valores predeterminados o iniciales y a partir de los cuales, modelamos el sistema mediante el programa ARENA, para luego analizar los resultados y realizar una comparativa entre las diferentes estrategias planteadas.

En la siguiente tabla se exponen los tiempos de producción predeterminados:

TIEMPOS			
Nombre	Abrev.	Valor Inicial	
Mecanizado palet A	twa	3,00	min.
Mecanizado palet B	twb	4,00	min.
Desplazamiento del robot - Tpo. de Viaje	tv	0,70	min.
Carga/Descarga palet A	tla	0,85	min.
Carga/Descarga palet B	tlb	0,95	min.
Cierre de Bridas utilaje A	tca	0,50	min.
Cierre de Bridas utilaje B	tcb	0,55	min.
Giro Total de la Plataforma	TT	0,45	min.
Frecuencia de paro máq. por cambio de herramienta - Tpo.entre averías	ts	30-150	min.
Cambio de herramienta por parte operario	tr	3-6	min.

Tabla 4.2.2.1 - Tiempos de producción (VP - FMFP)

b. Modelo Arena - FMFP*Fig. 4.2.2.1 - Modelo Arena - FMFP*

c. Descripción del Modelo

Llegada o entrada de piezas al sistema

La realizamos mediante la utilización del bloque CREATE del programa Arena. Considerando un abastecimiento constante de piezas en la línea de producción, para las operaciones A y B.

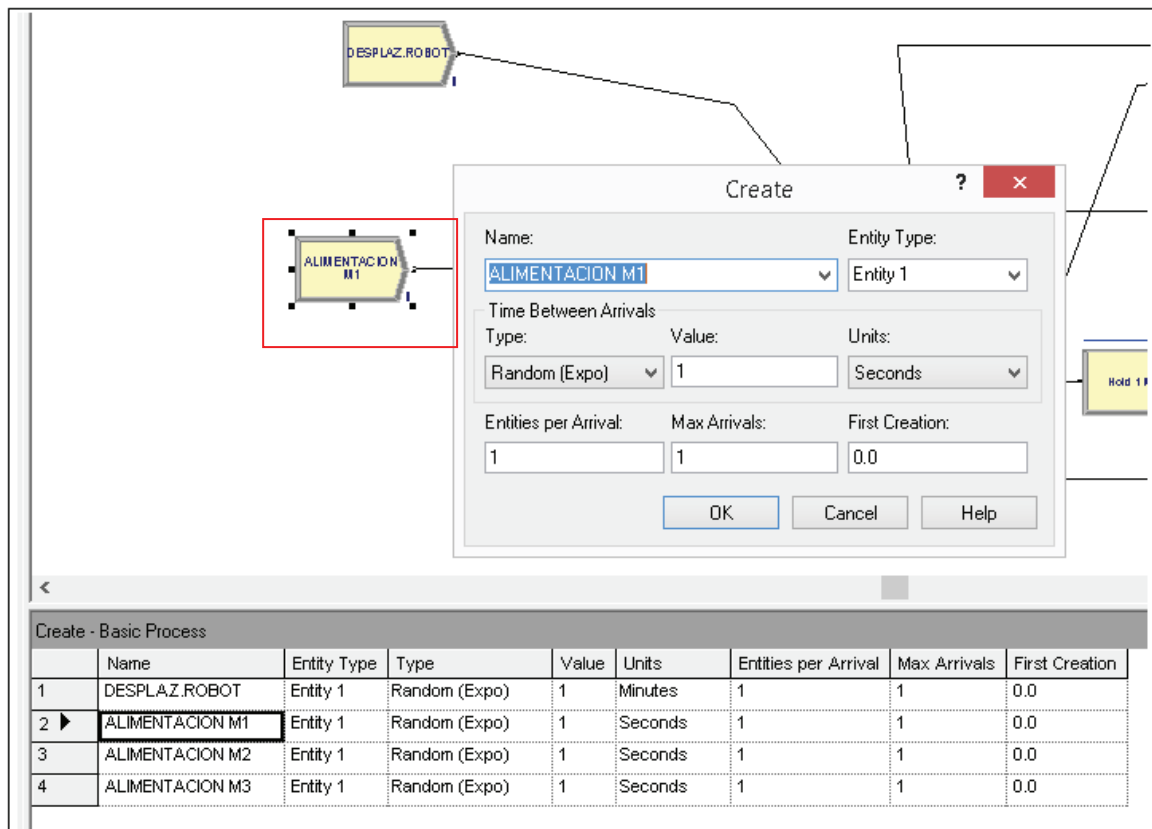


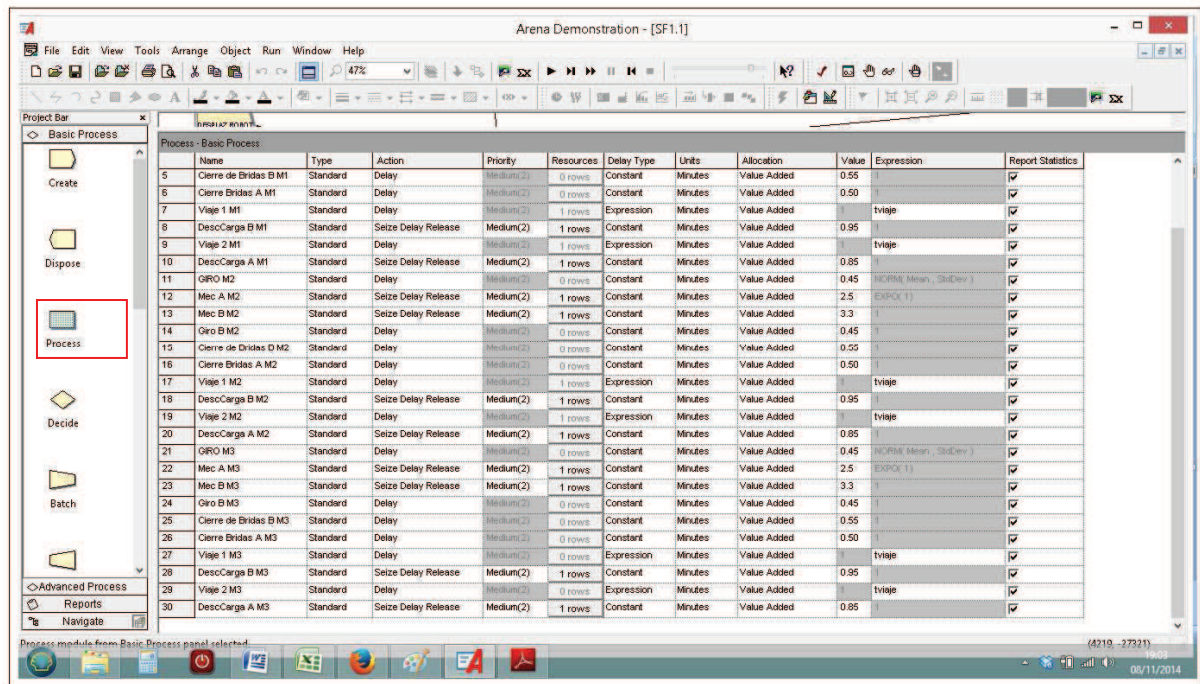
Fig. 4.2.2.2 - Bloque CREATE ARENA - Alimentación de la línea de producción

Procesos del sistema

Usamos el bloque PROCES del programa Arena para definir las distintas actividades que componen el sistema de producción.

Este bloque nos permite determinar la duración de las actividades, como también la captura y la liberación de los recursos mediante sus cuatro modos de acción:

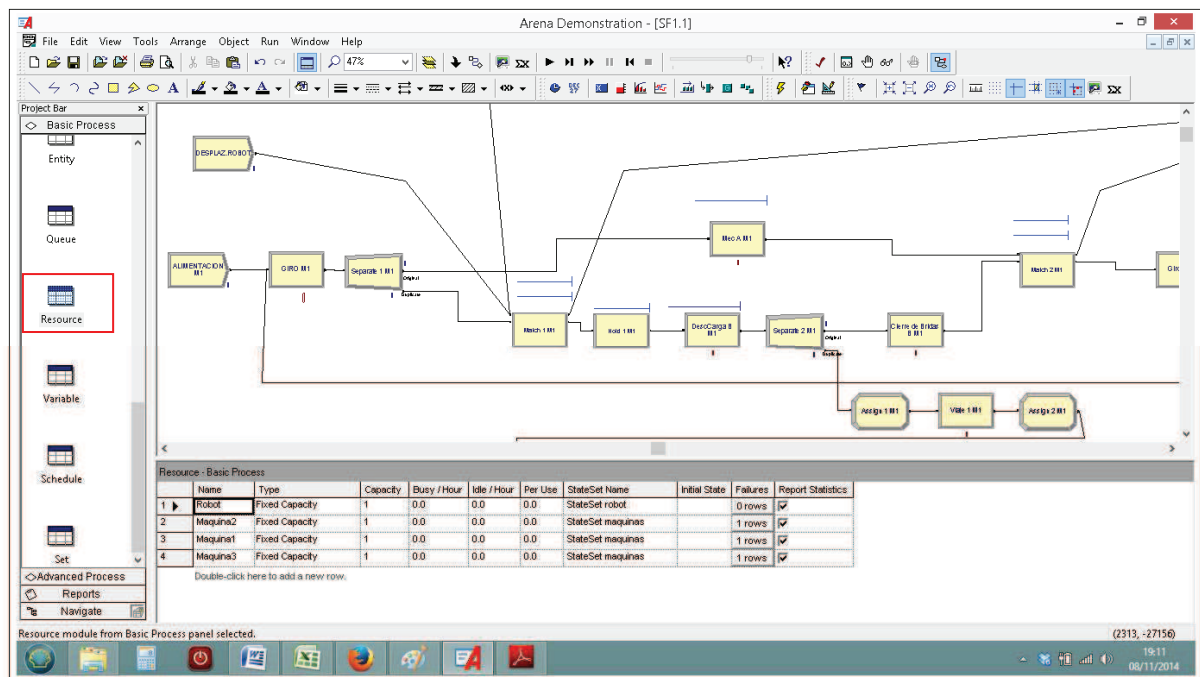
- ✓ Delay
- ✓ Size Delay
- ✓ Size Delay Release
- ✓ Delay Release



Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Value	Expression	Report Statistics
5	Cierre de Bidas B M1	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.55	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Cierre Bidas A M1	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.50	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Viaje 1 M1	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	1	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Descarga B M1	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.95	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Viaje 2 M1	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	1	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Descarga A M1	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.85	<input checked="" type="checkbox"/>
11	GRO M2	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.45	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Mec A M2	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	2.5	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Mec B M2	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	3.3	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Gro B M2	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.45	<input checked="" type="checkbox"/>
15	Cierre de Bidas D M2	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.55	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Cierre Bidas A M2	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.50	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Viaje 1 M2	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	1	<input checked="" type="checkbox"/>
18	Descarga B M2	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.95	<input checked="" type="checkbox"/>
19	Viaje 2 M2	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	1	<input checked="" type="checkbox"/>
20	Descarga A M2	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.85	<input checked="" type="checkbox"/>
21	GRO M3	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.45	<input checked="" type="checkbox"/>
22	Mec A M3	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	2.5	<input checked="" type="checkbox"/>
23	Mec B M3	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	3.3	<input checked="" type="checkbox"/>
24	Gro B M3	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.45	<input checked="" type="checkbox"/>
25	Cierre de Bidas B M3	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.55	<input checked="" type="checkbox"/>
26	Cierre Bidas A M3	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.50	<input checked="" type="checkbox"/>
27	Viaje 1 M3	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Expression	Minutes	Value Added	1	<input checked="" type="checkbox"/>
28	Descarga B M3	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.95	<input checked="" type="checkbox"/>
29	Viaje 2 M3	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Expression	Minutes	Value Added	1	<input checked="" type="checkbox"/>
30	Descarga A M3	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.85	<input checked="" type="checkbox"/>

Fig. 4.2.2.3 - Bloque PROCES ARENA - Actividades del Sistema

Recursos empleados por los procesos (Resource)



Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Initial State	Failures	Report Statistics
1 Robot	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	StateSet robot		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2 Maquina2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	StateSet maquinas		1 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3 Maquina1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	StateSet maquinas		1 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4 Maquina3	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	StateSet maquinas		1 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Fig. 4.2.2.4 - Recursos utilizados en el Sistema de Producción

Estados del sistema (StateSet)

Se consideran los siguientes estados:

a. Estados del robot

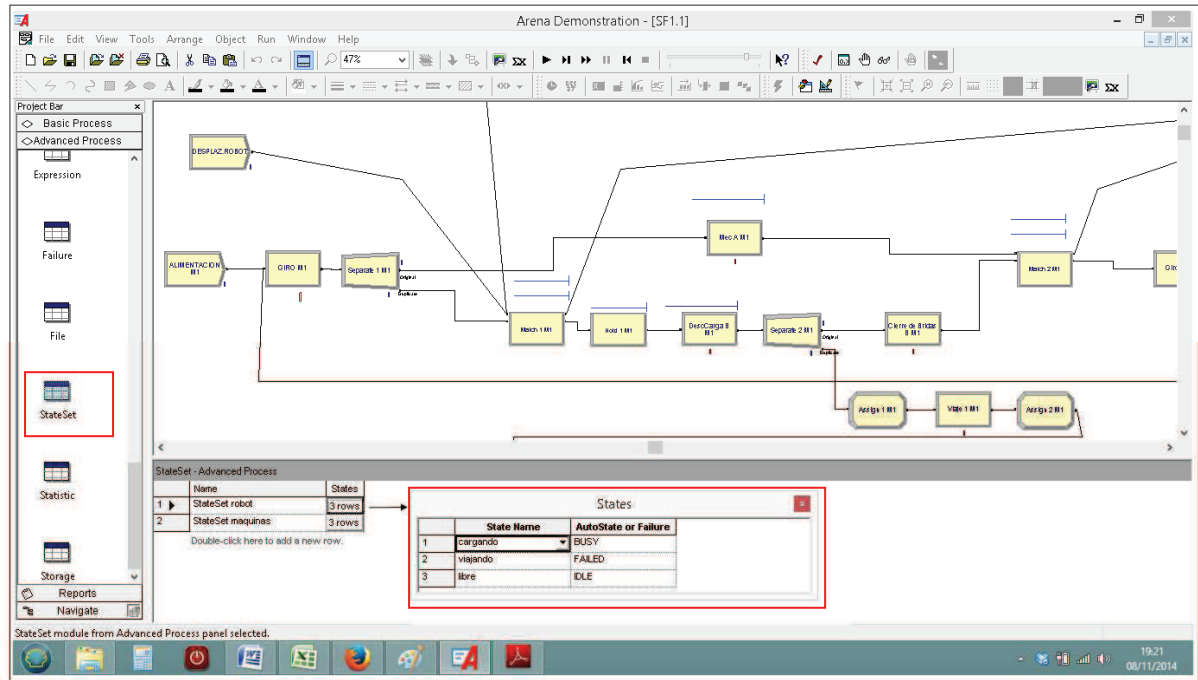


Fig. 4.2.2.5 - Estados del Robot

b. Estados de las máquinas de mecanizado

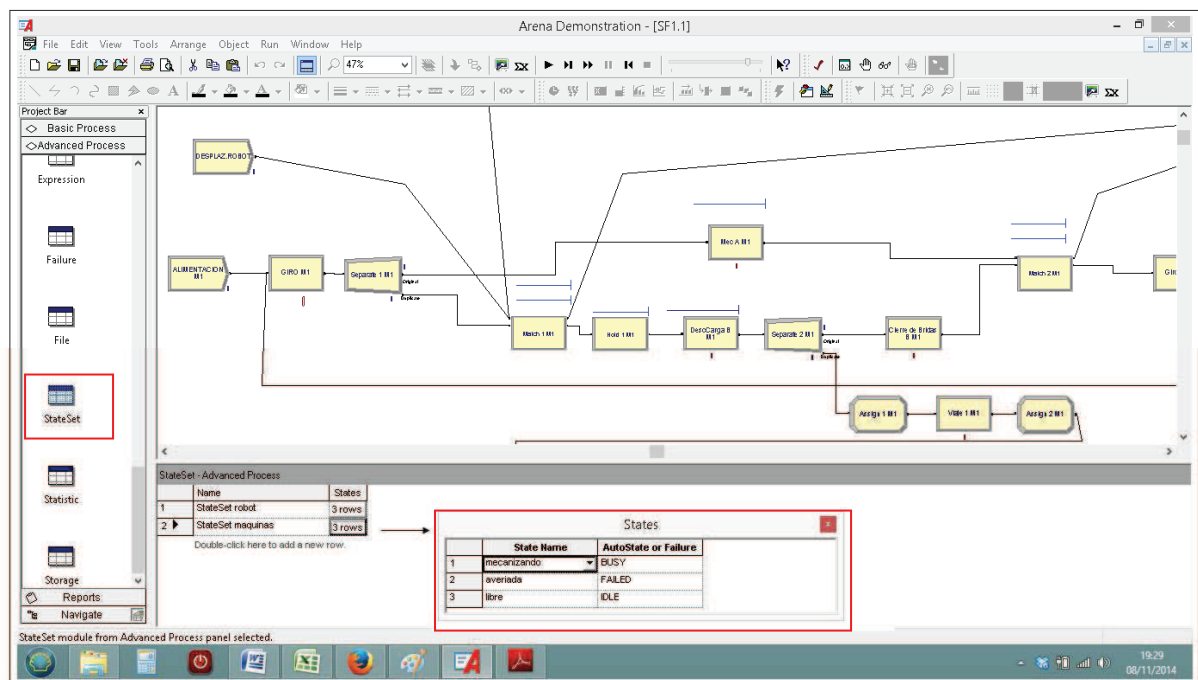


Fig. 4.2.2.6 - Estado de las máquinas

Resumiendo, para el estudio de esta estrategia consideramos los siguientes estados:

Estados Robot		Estados Máquina	
Cargando	BUSY	Mecanizando	BUSY
Viajando	FAILED	Avariada	FAILED
Libre	IDLE	Libre	IDLE

Tabla 4.2.2.2 - Estados del Sistema (FMFP)

Averías del Sistema (Failure1)

Definimos la avería o frecuencia de paro de la máquina por cambio de herramienta.

Para nuestro proyecto las averías se realizan con una distribución uniforme y su reparación, por parte del operario, con un tiempo de trabajo también uniforme.

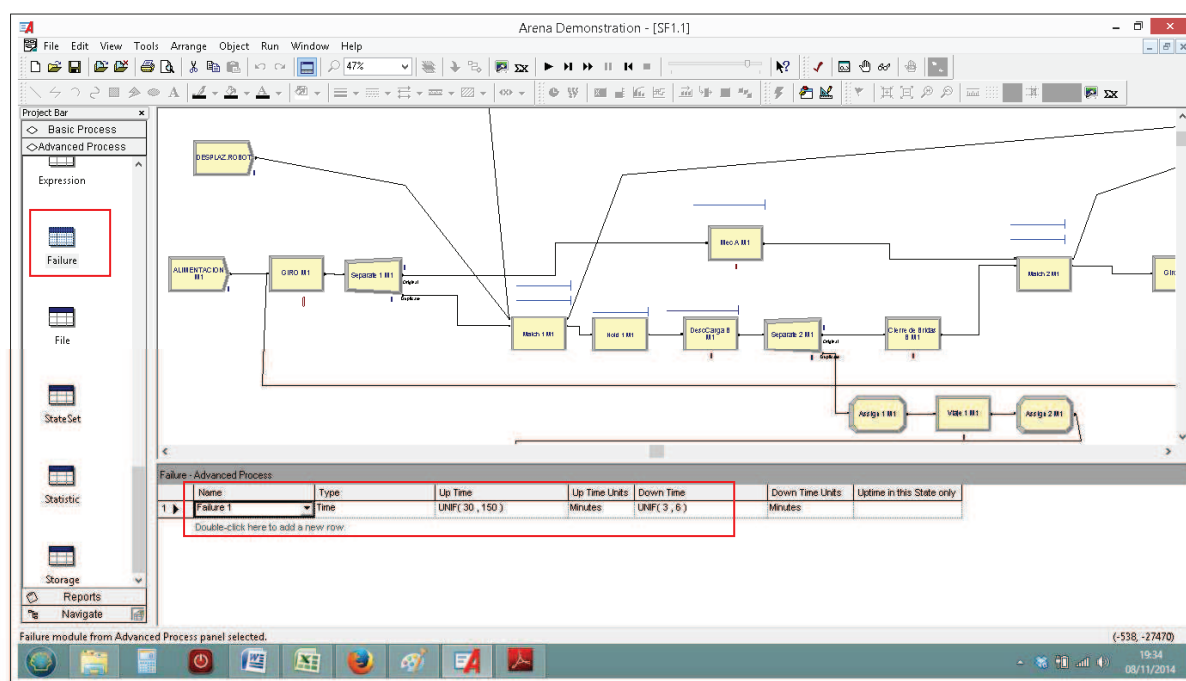


Fig. 4.2.2.7 - Fallos de las máquinas

Las averías se producen en las tres máquinas, por lo que definimos una avería en cada máquina (Failures= 1rows).

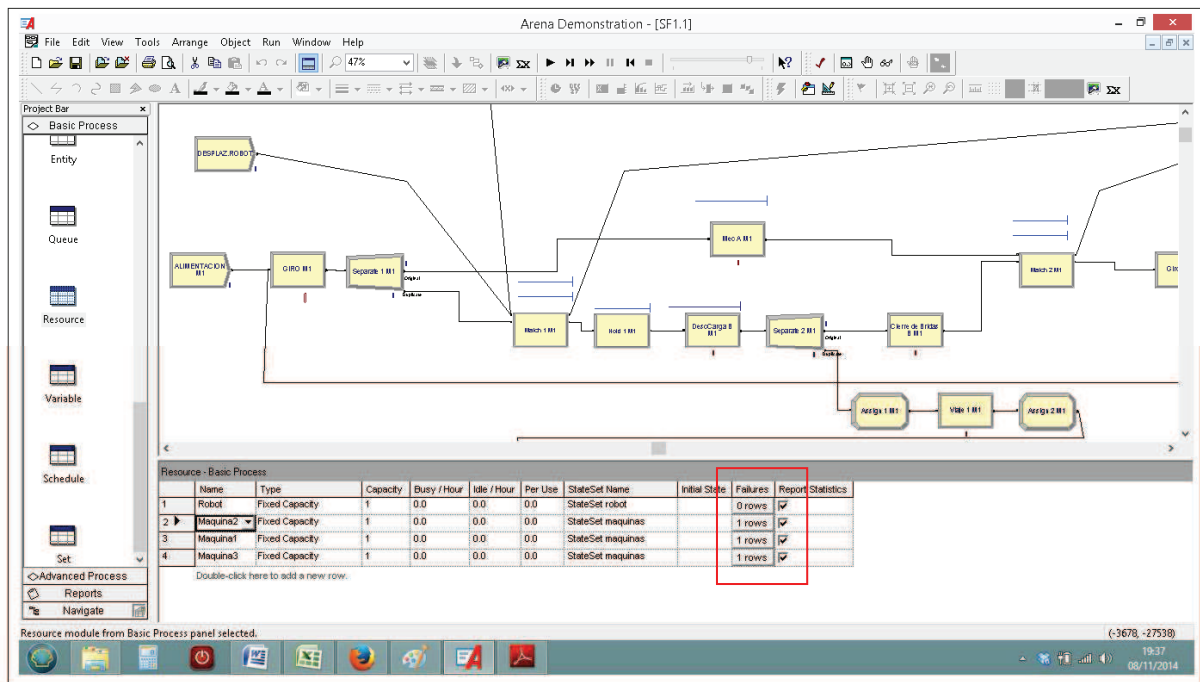


Fig. 4.2.2.8 - Avería por máquina

Variables

Establecemos las variables del sistema que son el tiempo de viaje del robot (tviaje) y la posición del robot (pos).

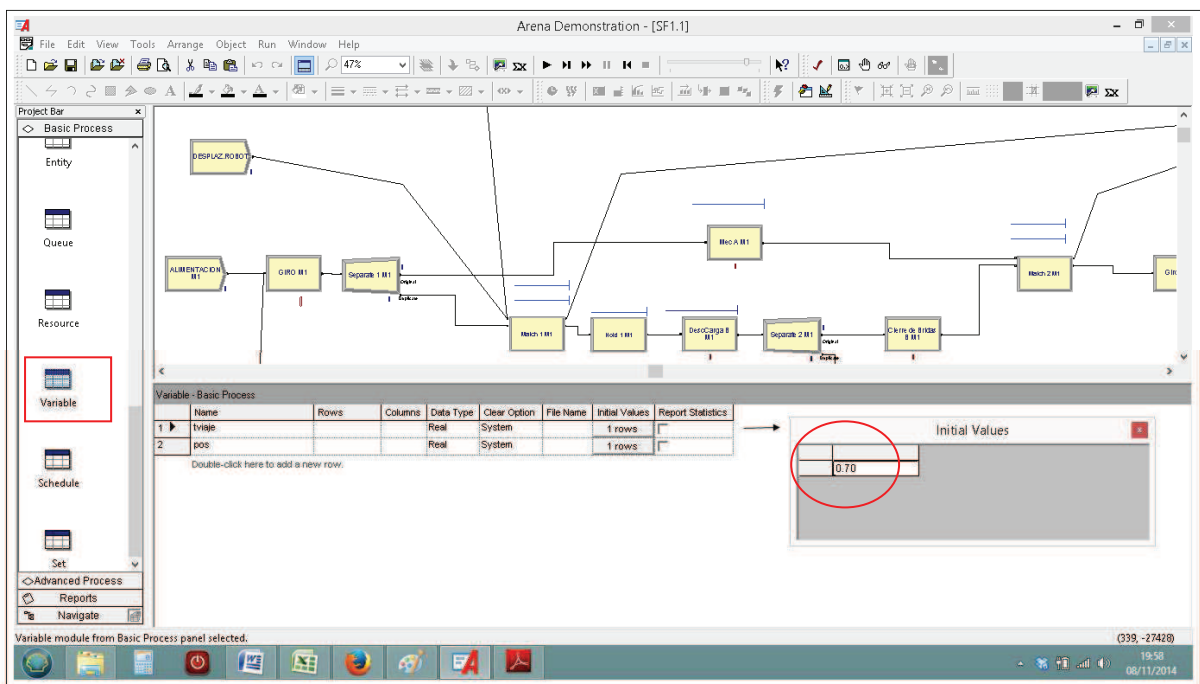
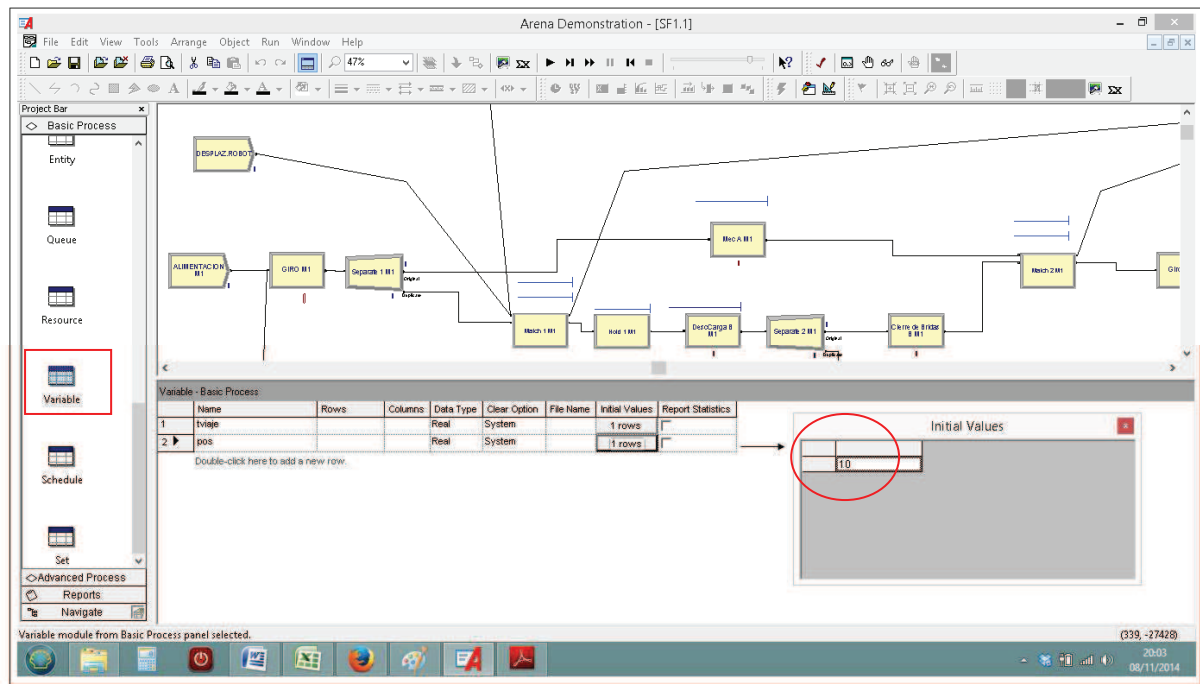


Fig. 4.2.2.9 - Variable1: tviaje

*Fig. 4.2.2.10 - Variable2: pos*

Colas (Queue)

Al modelar el sistema en el programa Arena, se determinan las diferentes etapas de la línea de producción en las que se pueden producir colas. En este proyecto analizaremos concretamente los tiempos muertos de las máquinas, es decir, el intervalo de tiempo en el que la máquina acaba su actividad de mecanizado y espera al robot (Match 2 y 4).

Arena Demonstration - [SF1.1]

File Edit View Tools Arrange Object Run Window Help

47%

Project Bar

Basic Process

Attribute

Entity

Queue

Resource

Variable

Advanced Process

Reports

Navigate

Queue - Basic Process

	Name	Type	Shared	Report Statistics
1	Mec A M1.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Mec B M1.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Match 2 M1.Queue1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Match 2 M1.Queue2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Match 4 M1.Queue1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Match 4 M1.Queue2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	robot.Queue	First In First Out	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Match 1 M1.Queue1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Match 1 M1.Queue2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Match 3 M1.Queue1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Match 3 M1.Queue2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Mec A M2.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Mec B M2.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Match 2 M2.Queue1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	Match 2 M2.Queue2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Match 4 M2.Queue1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Match 4 M2.Queue2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	Match 1 M2.Queue1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	Match 1 M2.Queue2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	Match 3 M2.Queue1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	Match 3 M2.Queue2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	Mec A M3.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	Mec B M3.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	Match 2 M3.Queue1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	Match 2 M3.Queue2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	Match 4 M3.Queue1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	Match 4 M3.Queue2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
28	Match 1 M3.Queue1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	Match 1 M3.Queue2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
30	Match 3 M3.Queue1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31	Match 3 M3.Queue2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32	Descarga B M1.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
33	Descarga A M1.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
34	Descarga B M2.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
35	Descarga A M2.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
36	Descarga B M3.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
37	Descarga A M3.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
38	Hold 1 M1.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
39	Hold 2 M1.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
40	Hold 1 M2.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
41	Hold 2 M2.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
42	Hold 1 M3.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
43	Hold 2 M3.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-click here to add a new row.

Queue module from Basic Process panel selected.

Fig. 4.2.2.11 - Tiempos Muertos FMFP (Mach 2 y 4)

d. Informe de Resultados - Simulación Arena

Concluido el diseño del modelo en el programa Arena, establecemos los parámetros y realizamos la simulación. Obteniendo el siguiente informe de tiempos muertos (Queue).

Category Overview						
Values Across All Replications						
Unnamed Project						
Replications: 10 Time Units: Minutes						
Queue						
Time						
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
DesoCarga A M1.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DesoCarga A M2.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DesoCarga A M3.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DesoCarga B M1.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DesoCarga B M2.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DesoCarga B M3.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hold 1 M1.Queue	0.07023054	0.02	0.02434564	0.1049	0.00	5.1267
Hold 1 M2.Queue	0.06260435	0.03	0.02665520	0.1175	0.00	4.8726
Hold 1 M3.Queue	0.06536125	0.01	0.03825872	0.1036	0.00	5.5600
Hold 2 M1.Queue	0.05069996	0.01	0.02246696	0.07863096	0.00	3.9317
Hold 2 M2.Queue	0.04567460	0.02	0.00	0.06965753	0.00	3.6041
Hold 2 M3.Queue	0.05084633	0.02	0.02076052	0.08416652	0.00	5.0591
Match 1 M1.Queue1	0.00391654	0.00	0.00367931	0.00394737	0.00	0.4500
Match 1 M1.Queue2	2.2203	0.03	2.1331	2.2782	0.00	7.5165
Match 1 M2.Queue1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 1 M2.Queue2	2.3630	0.04	2.2923	2.4299	0.4000	7.4091
Match 1 M3.Queue1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 1 M3.Queue2	2.4848	0.04	2.4317	2.5682	0.5000	7.5767
Match 2 M1.Queue1	1.2119	0.04	1.1046	1.3219	0.00	10.6858
Match 2 M1.Queue2	0.07059981	0.01	0.04544913	0.08685662	0.00	1.0000
Match 2 M2.Queue1	1.3438	0.03	1.2499	1.4024	0.00	7.6507
Match 2 M2.Queue2	0.05036096	0.01	0.03011178	0.08245351	0.00	1.0000
Match 2 M3.Queue1	1.4543	0.05	1.3553	1.5561	0.00	10.2044
Match 2 M3.Queue2	0.04771892	0.01	0.02654867	0.06022386	0.00	1.0000
Match 3 M1.Queue1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 3 M1.Queue2	2.4574	0.04	2.3869	2.5317	1.4000	10.4544
Match 3 M2.Queue1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 3 M2.Queue2	2.3657	0.02	2.3145	2.4141	1.3000	7.9380
Match 3 M3.Queue1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 3 M3.Queue2	2.2487	0.03	2.1706	2.2829	1.2000	7.6018
Match 4 M1.Queue1	0.5283	0.04	0.4500	0.5936	0.00	8.6044
Match 4 M1.Queue2	0.1067	0.01	0.06271930	0.1234	0.00	1.9500
Match 4 M2.Queue1	0.4292	0.02	0.3706	0.4728	0.00	6.4823
Match 4 M2.Queue2	0.1008	0.03	0.04866613	0.1552	0.00	1.9500
Match 4 M3.Queue1	0.3318	0.03	0.2483	0.3841	0.00	6.8737
Match 4 M3.Queue2	0.1031	0.02	0.06145002	0.1268	0.00	1.9500
Mec A M1.Queue	0.1505	0.03	0.05381933	0.1999	0.00	5.0187
Mec A M2.Queue	0.1318	0.05	0.00	0.2219	0.00	5.5809
Mec A M3.Queue	0.1427	0.03	0.05386677	0.1784	0.00	5.2697
Mec B M1.Queue	0.1361	0.02	0.05567230	0.1717	0.00	5.3615
Mec B M2.Queue	0.1327	0.04	0.04406636	0.2001	0.00	5.3110
Mec B M3.Queue	0.1207	0.02	0.06059076	0.1523	0.00	5.4325

Model Filename: C:\Users\lavia\Desktop\4-11-14 SIMULACION FIJA\SF1_30.150-3.6\SF1.1\01 Page 3 of 8

Fig. 4.2.2.12 - Informe de Tiempos Muertos FMFP (Mach 2 y 4)

Resumen de Resultados - Simulación Arena

A partir de los datos obtenidos en la simulación, procedemos a calcular el promedio de tiempos muertos del sistema de la estrategia fija:

SF		Tiempo de Mecanizado (tw)				
		3' (twa)				
		4' (twb)				
Z	0,7'	M1	1,20	± 0,05	0,52	± 0,05
		M2	1,35	± 0,04	0,41	± 0,06
		M3	1,58	± 0,07	0,21	± 0,03
SF		Tiempo de Mecanizado (tw)				
		3' (twa)				
		4' (twb)				
Z	0,7'	M1	1,72			
		M2	1,76			
		M3	1,79			
SF		Tiempo Total Mecanizado (tw)				
		3' (twa)				
		4' (twb)				
Z	0,7'	5,27				
SF		Tiempo Mecanizado (tw)				
		3' (twa)				
		4' (twb)				
Z	0,7'	1,76				

Tabla 4.2.2.2 - Promedio de Tiempos Muertos de las Máquinas (VP - FMFP)

Para FMFP con un tiempo de viaje del robot, $t_v=0.70'$ y con unos tiempos de mecanizado $t_{wa}=3'$ y $t_{wb}=4'$, el promedio de tiempos muertos de las máquinas es de $1.76'$.

En este apartado explicamos de forma esquemática la simulación en Arena, la cual se complementa con los documentos que se exponen en el Anexo 1.2

Gráficos FMFP

Analizando el gráfico de la estrategia fija planteada, y asumiendo que el robot tiene un tiempo de viaje=0.70, observamos su trayectoria desde el mecanizado A de la pieza al B (línea azul punteada). La cual sigue una secuencia : M1PA, M2PA, M3PA, M1PB, M2PB, M3PB, M1PA,Donde podemos ver que se producen tiempos improductivos de las máquinas, es decir, tiempos muertos durante el mecanizado A (línea roja) y también el mecanizado B (línea cian).

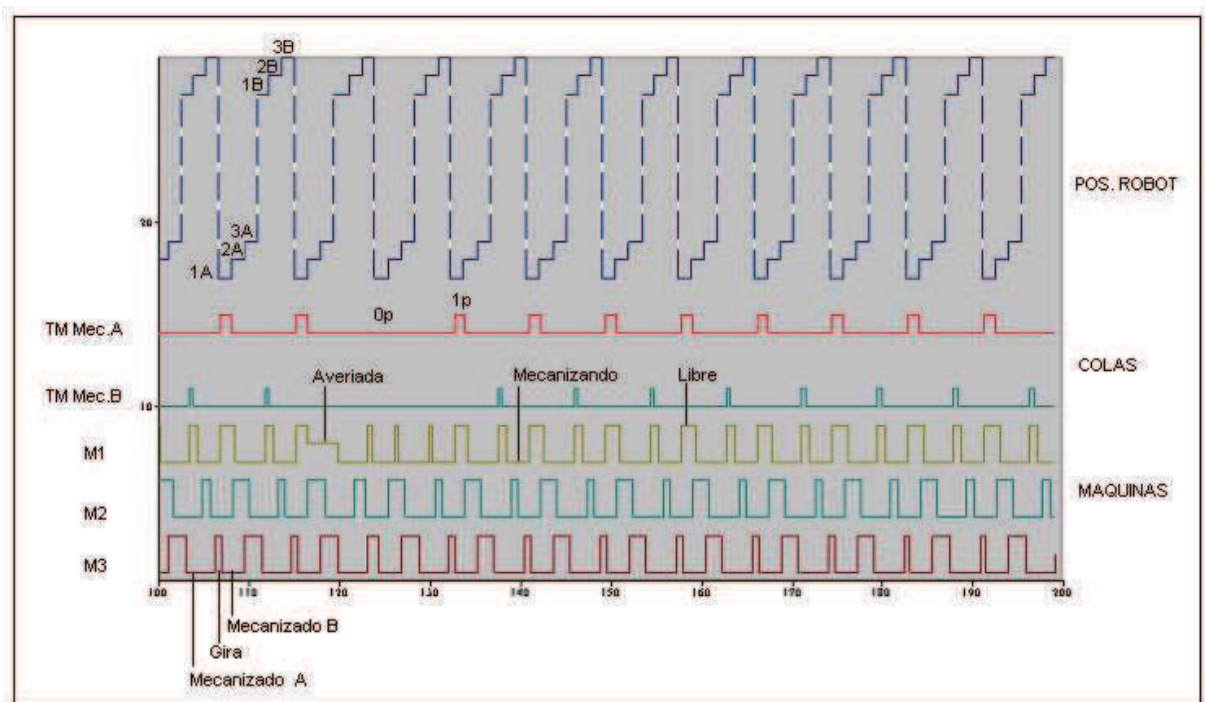
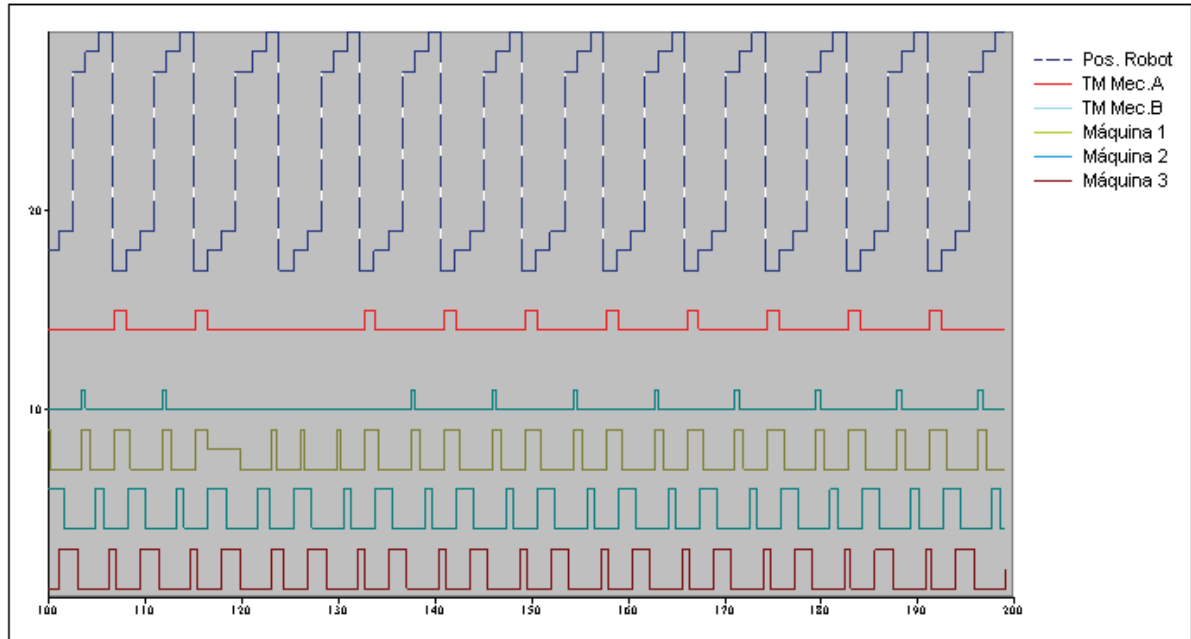


Gráfico 4.2.2.1 - Cronograma del estado de las máquinas, posición del robot y colas (FMFP)

El robot se posiciona delante de la máquina 1 (mec.A) para cargar mientras esta se encuentra girando. El robot espera, carga y sigue su secuencia hacia la máquina 2 (mec.A), mientras que la máquina 1 comienza su actividad de mecanizado.

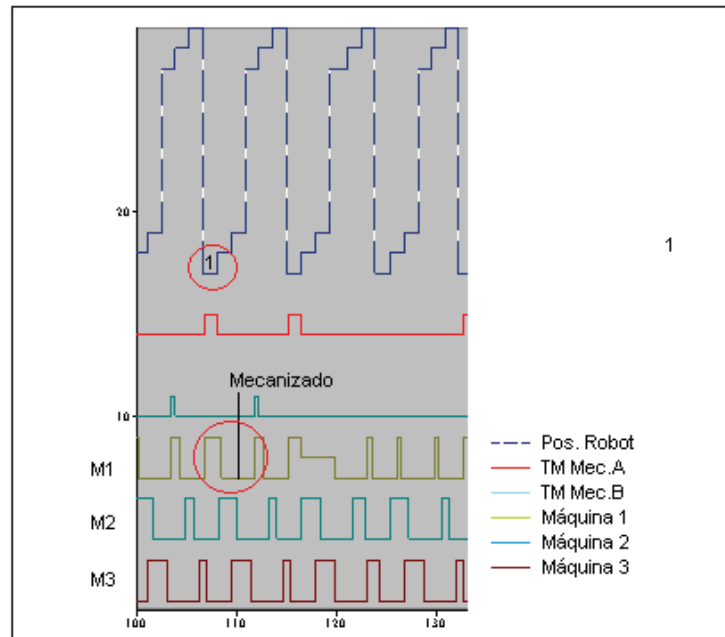


Gráfico 4.2.2.2 - Detalle del estado de la máquina 1, posición del robot (FMFP)

Se observa al robot delante de la máquina 2 (mec. A) para alimentarla, como esta se encuentra libre carga la pieza y comienza el mecanizado. Al mismo tiempo que en la máquina 1 se produce una avería que deberá ser reparada por el operario y la máquina 3 se encuentra realizando su actividad de mecanizado.

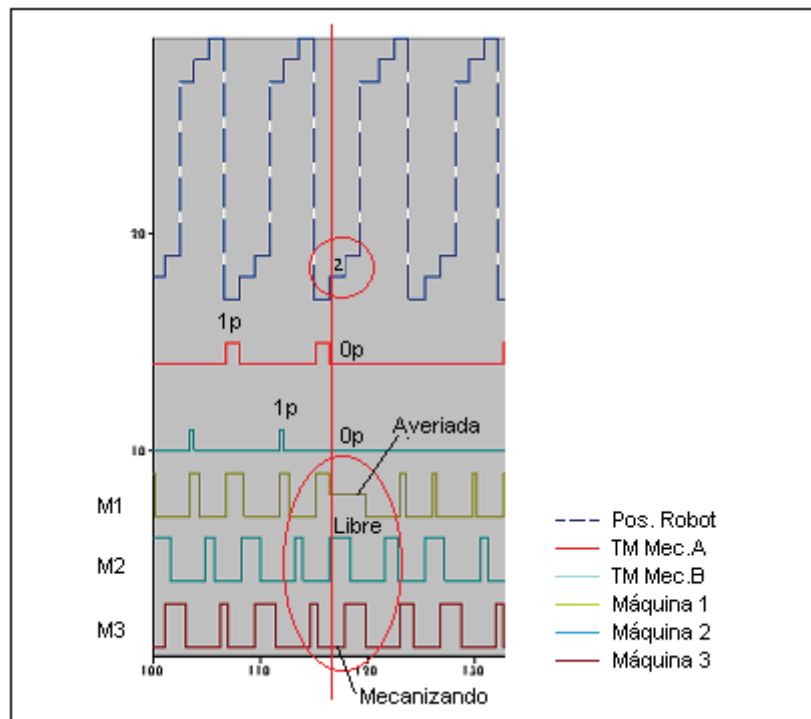


Gráfico 4.2.2.3 - Detalle avería de la máquina 1 (FMFP)

4.2.3 Estrategia FIFO

Recordando, en este modelo la estrategia que sigue el robot para alimentar a las máquinas es la de mayor flexibilidad que se plantea, de secuencia variable y basada en operaciones lógicas.

Es decir, la secuencia de alimentación de las máquinas se realiza según las máquinas que se encuentren listas para ser cargadas. La secuencia de alimentación de éstas, realizada por el robot depende de la cola de las máquinas.

El robot alimenta siempre a la máquina que entra primero en la cola. Después de que se hayan cerrado las bridas del palet exterior y se ha terminado el mecanizado en el palet interior, una máquina se añade a esta cola en el momento en que su plataforma giratoria está lista para rotar. Una vez se ha cargado y descargado una máquina, esta sale de la cola.

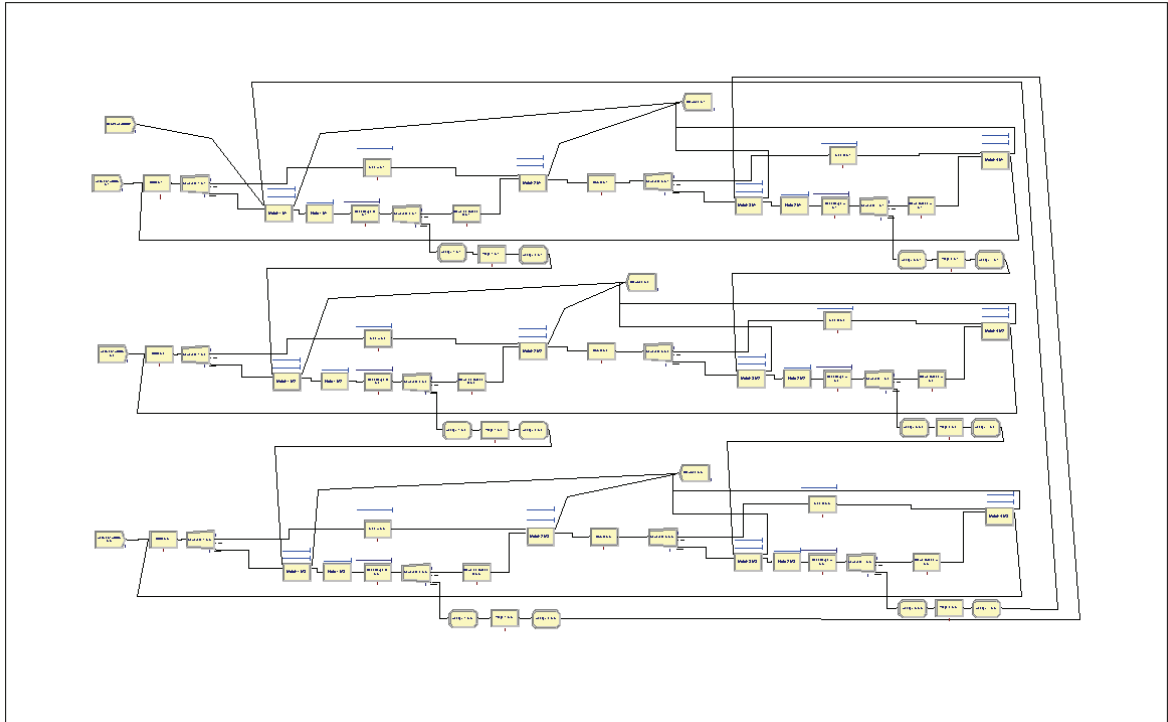
a. Valores Predeterminados

Nuestro proyecto se ha inspirado en datos obtenidos de la fábrica Metaldyne S.L., a los que llamaremos valores predeterminados o iniciales y a partir de los cuales, modelamos el sistema mediante el programa ARENA, para luego analizar los resultados y realizar una comparativa entre las diferentes estrategias planteadas.

En la siguiente tabla se exponen los tiempos de producción predeterminados:

TIEMPOS			
Nombre	Abrev.	Valor Inicial	
Mecanizado palet A	twa	3,00	min.
Mecanizado palet B	twb	4,00	min.
Desplazamiento del robot - Tpo. de Viaje	tv	0,70	min.
Carga/Descarga palet A	tla	0,85	min.
Carga/Descarga palet B	tlb	0,95	min.
Cierre de Bidas utilaje A	tca	0,50	min.
Cierre de Bidas utilaje B	tcb	0,55	min.
Giro Total de la Plataforma	TT	0,45	min.
Frecuencia de paro máq. por cambio de herramienta - Tpo.entre averías	ts	30-150	min.
Cambio de herramienta por parte operario	tr	3-6	min.

Tabla 4.2.3.1 - Tiempos de producción (VP - FIFO)

b. Modelo Arena - FIFO*Fig. 4.2.3.1 - Modelo Arena - FIFO*

c. Descripción del Modelo

Llegada o entrada de piezas al sistema

La realizamos mediante la utilización del bloque CREATE del programa Arena. Considerando un abastecimiento constante de piezas en la línea de producción, para las operaciones A y B.

Procesos del sistema

Usamos el bloque PROCES del programa Arena para definir las distintas actividades que componen el sistema de producción.

Este bloque nos permite determinar la duración de las actividades, como también la captura y la liberación de los recursos mediante sus cuatro modos de acción:

- ✓ Delay
- ✓ Size Delay
- ✓ Size Delay Release
- ✓ Delay Release

Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Value	Expression	Report Statistics
1	GIRO M1	Standard Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.45	NORM(Mean , StdDev)	✓
2	Mec A M1	Standard Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	2.5	EXPO(1)	✓
3	Mec B M1	Standard Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	3.3	1	✓
4	GIRO B M1	Standard Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.45	1	✓
5	Cierre de Brides B M1	Standard Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.55	1	✓
6	Cierre Brides A M1	Standard Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.50	1	✓
7	Viaje 1 M1	Standard Delay	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	1	tviaje(indice)	✓
8	DescCarga B M1	Standard Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.95	1	✓
9	Viaje 2 M1	Standard Delay	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	1	tviaje(indice)	✓
10	DescCarga A M1	Standard Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.85	1	✓
11	GIRO M2	Standard Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.45	NORM(Mean , StdDev)	✓
12	Mec A M2	Standard Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	2.5	EXPO(1)	✓
13	Mec B M2	Standard Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	3.3	1	✓
14	GIRO B M2	Standard Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.45	1	✓
15	Cierre de Brides B M2	Standard Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.55	1	✓
16	Cierre Brides A M2	Standard Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.50	1	✓
17	Viaje 1 M2	Standard Delay	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	1	tviaje(indice)	✓
18	DescCarga B M2	Standard Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.95	1	✓
19	Viaje 2 M2	Standard Delay	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	1	tviaje(indice)	✓
20	DescCarga A M2	Standard Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.85	1	✓
21	GIRO M3	Standard Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.45	NORM(Mean , StdDev)	✓
22	Mec A M3	Standard Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	2.5	EXPO(1)	✓
23	Mec B M3	Standard Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	3.3	1	✓
24	GIRO B M3	Standard Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.45	1	✓
25	Cierre de Brides B M3	Standard Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.55	1	✓
26	Cierre Brides A M3	Standard Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Minutes	Value Added	0.50	1	✓
27	Viaje 1 M3	Standard Delay	Medium(2)	0 rows	Expression	Minutes	Value Added	1	tviaje(indice)	✓

Fig. 4.2.3.3 - Bloque PROCES ARENA - Actividades del Sistema

Recursos empleados por los procesos (Resource)

Los recursos empleados en el proceso son: las máquinas y el robot.

Estados del sistema (StateSet)

Se consideran los siguientes estados:

- Estados del robot
- Estados de las máquinas de mecanizado

Resumiendo, para el estudio de esta estrategia consideramos los siguientes estados:

Estados Robot		Estados Máquina	
Cargando	BUSY	Mecanizando	BUSY
Viajando	FAILED	Averiada	FAILED
Libre	IDLE	Libre	IDLE

Tabla 4.2.3.1 - Estados del Sistema (FIFO)

Averías del Sistema (Failure1)

Definimos la avería o frecuencia de paro de la máquina por cambio de herramienta.

Para nuestro proyecto las averías se realizan con una distribución uniforme y su reparación, por parte del operario, con un tiempo de trabajo también uniforme.

Las averías se producen en las tres máquinas, por lo que definimos una avería en cada máquina (Failures= 1rows).

Variables

Establecemos las variables del sistema que son la posición del robot y el índice, que le permitirá al robot seguir su secuencia (FIFO) cuando las máquinas estén trabajando o en reparación.

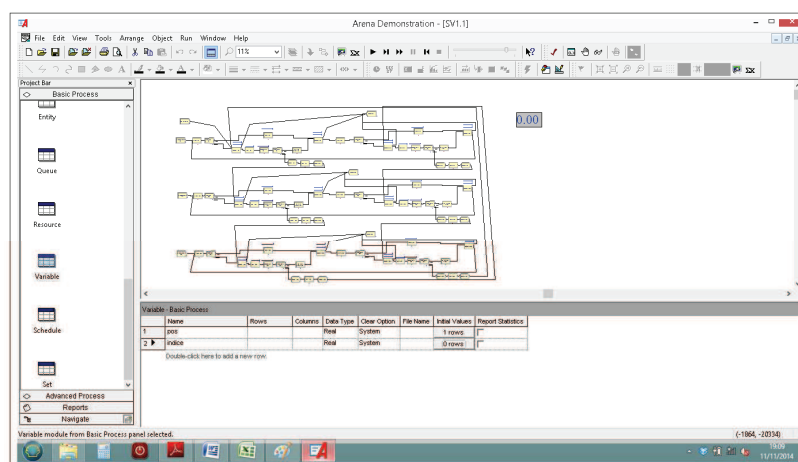


Fig. 4.2.3.8 - Variables del Modelo

Colas (Queue)

Al modelar el sistema en el programa Arena, se determinan las diferentes etapas de la línea de producción en las que se pueden producir colas. En este proyecto analizaremos concretamente los tiempos muertos de las máquinas, es decir, el intervalo de tiempo en el que la máquina acaba su actividad de mecanizado y espera al robot (Match 2 y 4).

d. Informe de Resultados - Simulación Arena

Concluido el diseño del modelo en el programa Arena, establecemos los parámetros y realizamos la simulación. Obteniendo el siguiente informe de tiempos muertos (Queue).

13:33:08

Category Overview

noviembre 11, 2014

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10

Time Units: Minutes

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
DesoCarga A M1.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DesoCarga A M2.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DesoCarga A M3.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DesoCarga B M1.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DesoCarga B M2.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DesoCarga B M3.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hold 1 M1.Queue	0.07023054	0.02	0.02434564	0.1049	0.00	5.1267
Hold 1 M2.Queue	0.06260435	0.03	0.02666520	0.1175	0.00	4.8726
Hold 1 M3.Queue	0.06536125	0.01	0.03825872	0.1035	0.00	5.5600
Hold 2 M1.Queue	0.05069996	0.01	0.02246698	0.07683098	0.00	3.9317
Hold 2 M2.Queue	0.04567460	0.02	0.00	0.06965753	0.00	3.6041
Hold 2 M3.Queue	0.05084633	0.02	0.02076052	0.08416652	0.00	5.0591
Match 1 M1.Queue1	0.00391654	0.00	0.00387931	0.00394737	0.00	0.4500
Match 1 M1.Queue2	2.2203	0.03	2.1331	2.2782	0.00	7.5165
Match 1 M2.Queue1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 1 M2.Queue2	2.3630	0.04	2.2923	2.4299	0.4000	7.4091
Match 1 M3.Queue1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 1 M3.Queue2	2.4548	0.04	2.4317	2.5682	0.5000	7.5767
Match 2 M1.Queue1	1.2119	0.04	1.1046	1.3219	0.00	10.6858
Match 2 M1.Queue2	0.07059981	0.01	0.04544913	0.08685662	0.00	1.0000
Match 2 M2.Queue1	1.3438	0.03	1.2499	1.4024	0.00	7.6507
Match 2 M2.Queue2	0.05036098	0.01	0.03011178	0.08245261	0.00	1.0000
Match 2 M3.Queue1	1.4543	0.05	1.3563	1.5661	0.00	10.2044
Match 2 M3.Queue2	0.04771892	0.01	0.02654867	0.06022388	0.00	1.0000
Match 3 M1.Queue1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 3 M1.Queue2	2.4574	0.04	2.3869	2.5317	1.4000	10.4544
Match 3 M2.Queue1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 3 M2.Queue2	2.3657	0.02	2.3145	2.4141	1.3000	7.9380
Match 3 M3.Queue1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 3 M3.Queue2	2.2487	0.03	2.1706	2.2829	1.2000	7.6018
Match 4 M1.Queue1	0.5283	0.04	0.4500	0.5936	0.00	8.5044
Match 4 M1.Queue2	0.1067	0.01	0.06271930	0.1234	0.00	1.9500
Match 4 M2.Queue1	0.4292	0.02	0.3706	0.4728	0.00	6.4923
Match 4 M2.Queue2	0.1008	0.03	0.04886513	0.1552	0.00	1.9500
Match 4 M3.Queue1	0.3318	0.03	0.2483	0.3841	0.00	6.8737
Match 4 M3.Queue2	0.1031	0.02	0.06145002	0.1268	0.00	1.9500
Mec A M1.Queue	0.1505	0.03	0.06381933	0.1999	0.00	5.0187
Mec A M2.Queue	0.1318	0.05	0.00	0.2219	0.00	5.5809
Mec A M3.Queue	0.1427	0.03	0.0538677	0.1784	0.00	5.2697
Mec B M1.Queue	0.1361	0.02	0.05567230	0.1717	0.00	5.3615
Mec B M2.Queue	0.1327	0.04	0.04406636	0.2001	0.00	5.3110
Mec B M3.Queue	0.1207	0.02	0.08059076	0.1523	0.00	5.4325

Model Filename: C:\Users\jame\Desktop\4-11-14 SIMULACION VARIABLE (10 REP)\SV1 30

Page 3 of 8

Fig. 4.2.3.11 - Informe de Tiempos Muertos FIFO (Mach 2 y 4)

Resumen de Resultados - Simulación Arena

A partir de los datos obtenidos en la simulación, procedemos a calcular el promedio de tiempos muertos del sistema de la estrategia fija:

SV		Tiempo de Mecanizado (tw)				
		3' (twa)				
		4' (twb)				
Z	0,7'	M1	1,20	±0,05	0,52	±0,05
		M2	1,35	±0,04	0,41	±0,06
		M3	1,58	±0,07	0,21	±0,03
SV		Tiempo de Mecanizado (tw)				
		3' (twa)				
		4' (twb)				
Z	0,7'	M1	1,72			
		M2	1,76			
		M3	1,79			
SV		Tiempo Mecanizado (tw)				
		3' (twa)				
		4' (twb)				
Z	0,7'	1,76				

Tabla 4.2.3.2 - Promedio de Tiempos Muertos de las Máquinas (VP - FIFO)

Para FIFO con un tiempo de viaje del robot, $t_v=0.70'$ y con unos tiempos de mecanizado $t_{wa}=3'$ y $t_{wb}=4'$, el promedio de tiempos muertos de las máquinas es de $1.76'$.

En este apartado explicamos de forma gráfica la simulación en Arena, la cual se complementa con los documentos que se exponen en el Anexo 1.2.

Gráficos FMFP

Analizando el gráfico de la estrategia variable planteada, y asumiendo que el robot tiene un tiempo de viaje=0.70, observamos su trayectoria desde el mecanizado A de la pieza al B (línea azul punteada).

El robot sigue una secuencia de alimentación de las máquinas según las máquinas que se encuentren listas para ser cargadas y depende de la cola de las máquinas.

El robot alimenta siempre a la máquina que entra primero en la cola. Después de que se hayan cerrado las bridas del palet exterior y se ha terminado el mecanizado en el palet interior, una máquina se añade a esta cola en el momento en que su plataforma giratoria está lista para rotar. Una vez se ha cargado y descargado una máquina, esta sale de la cola.

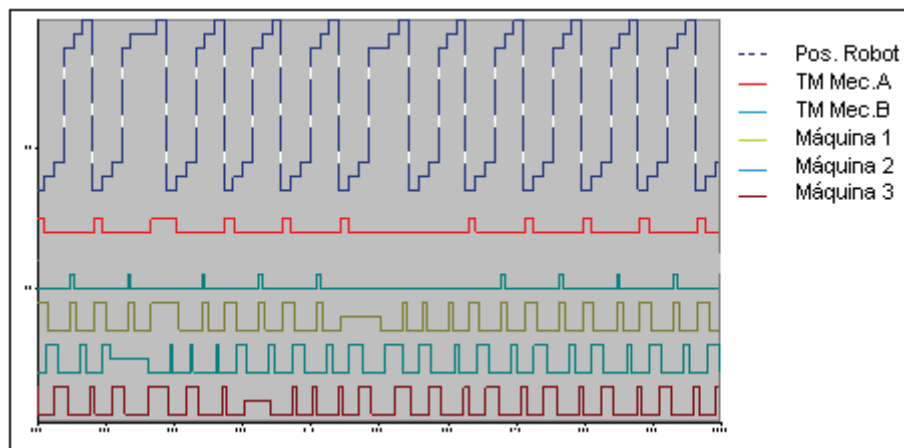


Gráfico 4.2.3.1 - Cronograma del estado de las máquinas, posición del robot y colas (FIFO)

Donde podemos ver que se producen tiempos improductivos de las máquinas, es decir, tiempos muertos durante el mecanizado A (línea roja) y también el mecanizado B (línea cian).

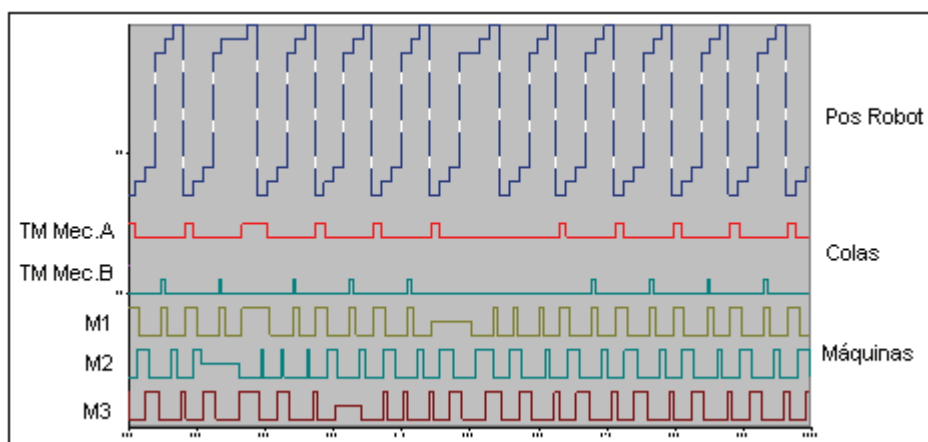


Gráfico 4.2.3.2 - Detalle del estado de las máquinas, posición del robot y colas (FIFO)

Se observa al robot delante de la máquina 2 (mec.A) para alimentarla, como esta se encuentra averiada sigue su secuencia. La avería se mantiene inclusive hasta que el robot se posiciona delante de la máquina 2 (mec.B). Se dirige a la máquina 3 que se encuentra libre. Mientras que la máquina 1 está mecanizando.

Los tiempos muertos que se observan de la máquinas los encontramos tanto en el Mecanizado A como en el B.

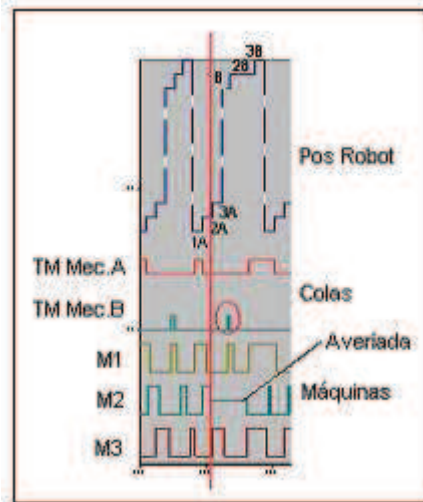


Gráfico 4.2.3.3 - Detalle avería Máquina 2 (FIFO)

4.3 Determinación de parámetros de simulación

Para resolver nuestro proyecto y poder obtener información que nos permita tomar decisiones con respecto al sistema productivo, establecimos una relación entre el número de réplicas y la precisión de la estimación. Definiendo un número mínimo de réplicas para obtener unos resultados con alta precisión (1 decimal) por medio de la simulación.

Parámetros

- ✓ Número de réplicas o número de veces que se ejecutará la simulación (10)
- ✓ Duración del tránsito o tiempo durante el cual no se hacen mediciones (0)
- ✓ La duración de la simulación (1000)
- ✓ Condición de finalización (no se determina)

The image shows the 'Run Setup' dialog box with the following configuration:

- Number of Replications:** 10
- Start Date and Time:** ☒ martes , 4 de noviembre de 2014 15:46:55
- Warm-up Period:** 0.0
- Replication Length:** 1000
- Hours Per Day:** 24
- Base Time Units:** Minutes
- Terminating Condition:** (empty field)
- Initialize Between Replications:** ☒ Statistics, ☒ System

Buttons at the bottom: Aceptar, Cancelar, Aplicar, Ayuda.

Fig. 4.3.1 - Programación de parámetros de la simulación

4.4 Validación del modelo

El objetivo de validar los modelos planteados para cada una de las estrategias es comprobar que representan fielmente el comportamiento del sistema. Además de aumentar su credibilidad para que la empresa pueda utilizarlo para tomar decisiones con respecto al sistema que actualmente utiliza.

- ✓ Construcción de un modelo válido.
- ✓ Validación de las asunciones; estructurales y sobre los datos.
- ✓ Comparación de los datos de entrada y salida del modelo con los del sistema.

Este proyecto se inspira en el sistema real de la empresa Metaldyne S.L., a partir del cual, fijamos unos determinados datos para poder modelarlo. Sin embargo, para poder validar el modelo y además hacerlo con la versión académica del programa Arena, nos falta información. Se debería realizar un proyecto anexo a éste que recopile información específica sobre la producción de la empresa.

4.5 Modelos alternativos

4.5.1 Comparación de estrategias de alimentación FMFP-FIFO

Se realizaron una serie de simulaciones para las estrategias: FMFP y FIFO; para diferentes valores de t_{wa} , t_{wb} y t_v dentro sus rangos habituales.

La selección de las estrategias una fija y una variable, fue debido a que la primera es la más rígida y la que utiliza actualmente la empresa que estudiamos y la segunda es la más flexible y podría adaptarse a las necesidades de la empresa.

Las máquinas solicitan asistencia al azar dentro de un período de tiempo, y aunque los resultados experimentales muestran que las secuencias fijas son más sensibles a los efectos aleatorios de la asistencia que las secuencias variables, la influencia exacta sobre las diferentes estrategias requiere un análisis estadístico complementario.

Para una secuencia fija, cuando una máquina entra en el línea que no se corresponde con la secuencia, en este caso el robot espera generando tiempos improductivos, pero para la FIFO no se detendrá en la máquina en el primer paso en frente de ella, sino que el robot la cargará en el siguiente ciclo, aunque el máquina está lista para trabajar inmediatamente después de volver a entrar la línea. Para una secuencia FIFO este efecto es menos relevante porque, si es necesario, el robot puede cargar la máquina que acaba de entrar en la línea si no hay otro está en la cola, aunque esta estrategia no puede evitar algunos residuos tiempo, como se demostró en los informes.

4.5.2 Propuestas alternativas

Para completar el estudio de nuestro proyecto definiremos diferentes escenarios modificando datos concretos de las estrategias de alimentación estudiadas anteriormente, para poder comparar sus resultados y obtener unas fundamentadas conclusiones.

Los parámetros del sistema inicial que se modificaran son:

- ✓ Los tiempos de mecanizado de las piezas (twa y twb).
- ✓ El tiempo de viaje del robot (tv).

Consideramos en este proyecto, que la variación de estos tiempos podría ser muy relevante pudiendo incidir tanto en los tiempos muertos del sistema como la producción de la fábrica.

Para materializar las propuestas alternativas, determinamos 4 escenarios idénticos para cada una de las estrategias planteadas (FMFP-FIFO).

En la siguiente tabla podemos observar los parámetros establecidos para cada escenario:

Nombre	TIEMPOS									
	Abrev.	Valor Inicial	SF1/SV1		SF2/SV2		SF3/SV3		SF4/SV4	
Mecanizado palet A	twa	3	min.	2,5-3-3,5	min.	2,5-3-3,5	min.	2,5-3-3,5	min.	2,5-3-3,5
Mecanizado palet B	twb	4	min.	3,3-4-4,5	min.	3,3-4-4,5	min.	3,3-4-4,5	min.	3,3-4-4,5
Desplazamiento del robot - Tpo. de Viaje	tv	0,70	min.	0,5-0,7-0,9	min.	0	min.	0,5-0,7-0,9	min.	0,5-0,7-0,9
Carga/Descarga palet A	tla	0,85	min.	0,85	min.	0,85	min.	0,85	min.	0,85
Carga/Descarga palet B	tlb	0,95	min.	0,95	min.	0,95	min.	0,95	min.	0,95
Cierre de Bidas utilaje A	tca	0,50	min.	0,50	min.	0,50	min.	0,50	min.	0,50
Cierre de Bidas utilaje B	tcb	0,55	min.	0,55	min.	0,55	min.	0,55	min.	0,55
Giro Total de la Plataforma	TT	0,45	min.	0,45	min.	0,45	min.	0,45	min.	0,45
Frecuencia de paro máq. por cambio de herramienta - Tpo.entre averías	ts	30-150	min.	30-150	min.	30-150	min.	0	min.	30
Cambio de herramienta por parte operario	tr	3-6	min.	3-6	min.	3-6	min.	0	min.	10

Tabla. 4.5.2.1 - Resumen de parámetros de los diferentes escenarios planteados

4.5.3 Diferentes escenarios para la estrategia fija

a. Escenario 1 - SF1

Como establecimos anteriormente, para ampliar la investigación de nuestro proyecto, analizaremos el comportamiento del sistema modificando los parámetros: tw y tv .

En este escenario aumentamos y disminuimos los valores iniciales de mecanizado y tiempo de viaje del robot en un 17%.

Es decir, buscamos los resultados de las simulaciones para $twa_i=3'$, $twa_1=2.5'$, $twa_2=3.5'$, $twb_i=4'$, $twb_1=3.3'$ y $twb_2=4.5'$. Con tiempos de desplazamiento del robot $tv_i=0.7'$, $tv_1=0.5'$ y $tv_2=0.9'$.

En la siguiente tabla se exponen los tiempos de producción para la simulación del presente escenario:

TIEMPOS			
Nombre	Abrev.	SF1	
Mecanizado palet A	twa	2,5-3-3,5	min.
Mecanizado palet B	twb	3,3-4-4,5	min.
Desplazamiento del robot - Tpo. de Viaje	tv	0,5-0,7-0,9	min.
Carga/Descarga palet A	tla	0,85	min.
Carga/Descarga palet B	tlb	0,95	min.
Cierre de Bridas utilaje A	tca	0,50	min.
Cierre de Bridas utilaje B	tcb	0,55	min.
Giro Total de la Plataforma	TT	0,45	min.
Frecuencia de paro máq. por cambio de herramienta - Tpo.entre averías	ts	30-150	min.
Cambio de herramienta por parte operario	tr	3-6	min.

Tabla 4.5.3.1 - Tiempos de producción (ESC.1 - SF1)

Resumen de resultados - Simulación Arena

A partir de los datos obtenidos en la simulación, procedemos a calcular los tiempos muertos del sistema de la estrategia fija:

SF1			Tiempo Mecanizado (tw)											
			2,5				3,0				3,5			
			3,3				4,0				4,5			
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	M1	1,21	± 0,04	0,53	± 0,04	0,48	± 0,03	0,15	± 0,02	0,10	± 0,01	0,09	± 0,04
		M2	1,34	± 0,03	0,43	± 0,02	0,54	± 0,05	0,12	± 0,02	0,14	± 0,02	0,10	± 0,05
		M3	1,45	± 0,05	0,33	± 0,03	0,61	± 0,02	0,08	± 0,03	0,18	± 0,04	0,07	± 0,02
	0,7	M1	1,87	± 0,07	1,26	± 0,06	1,20	± 0,05	0,52	± 0,05	0,54	± 0,05	0,11	± 0,03
		M2	2,11	± 0,08	1,03	± 0,05	1,35	± 0,04	0,41	± 0,06	0,62	± 0,06	0,08	± 0,02
		M3	2,34	± 0,10	0,84	± 0,03	1,58	± 0,07	0,21	± 0,03	0,67	± 0,07	0,05	± 0,02
	0,9	M1	2,82	± 0,08	1,96	± 0,08	1,94	± 0,10	1,19	± 0,10	1,23	± 0,03	0,75	± 0,09
		M2	2,87	± 0,08	1,93	± 0,08	2,16	± 0,09	0,99	± 0,06	1,56	± 0,13	0,53	± 0,04
		M3	2,92	± 0,07	1,94	± 0,08	2,43	± 0,11	0,76	± 0,03	1,85	± 0,09	0,27	± 0,02

SF1			Tiempo Mecanizado (tw)											
			2,5				3,0				3,5			
			3,3				4,0				4,5			
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	M1	1,74				0,63				0,18			
		M2	1,77				0,67				0,24			
		M3	1,79				0,69				0,25			
	0,7	M1	3,12				1,72				0,65			
		M2	3,14				1,76				0,70			
		M3	3,18				1,79				0,71			
	0,9	M1	4,77				3,13				1,98			
		M2	4,80				3,15				2,09			
		M3	4,86				3,19				2,12			

SF1		Tiempo Total Mecanizado (tw)		
		2,5	3,0	3,5
		3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	5,30	1,98	0,68
	0,7	9,44	5,27	2,06
	0,9	14,44	9,47	6,20

Tabla 4.5.3.2 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.1 - SF1)

Calculamos el promedio de tiempos muertos del sistema de la estrategia fija con una fiabilidad del 95%.

Observamos que la mayor reducción de tiempos muertos de las máquinas se produce al disminuir el tiempo de viaje del robot, $t_v=0.5'$ y aumentando los tiempos de mecanizado con respecto a los valores iniciales a $t_{wa}=3.5'$ y $t_{wb}=4.5'$. Mientras que al aumentar el $t_v=0.9'$ y con $t_{wa}=2.5'$ y $t_{wb}=3.3'$, practicamente se triplican los tiempos muertos del sistema.

SF1		Tiempo Mecanizado (tw)			
		2,5	3,0	3,5	
		3,3	4,0	4,5	
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	1,77	0,66	0,23	→ Menor Tpo.Muerto
	0,7	3,15	1,76	0,69	
	0,9	4,81	3,16	2,07	

↓
Mayor Tpo. Muerto

Tabla 4.5.3.3 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.1 - SF1)

En este apartado explicamos de forma esquemática la simulación en Arena, la cual se complementa con los archivos del CD correspondientes a este escenario y estrategia.

b. Escenario 2 - SF2

Como establecimos anteriormente, para ampliar la investigación de nuestro proyecto, analizaremos el comportamiento del sistema modificando los parámetros: t_w y t_v .

En este escenario pretendemos extremar los datos para el modelo, es decir, buscamos los resultados de las simulaciones para $t_{wa_i}=3$, $t_{wa_1}=2.5'$, $t_{wa_2}=3.5'$, $t_{wb_i}=4$, $t_{wa_1}=3.3'$, $t_{wa_2}=4.5'$; con un tiempo de desplazamiento del robot es $t_v=0'$.

En la siguiente tabla se exponen los tiempos de producción para la simulación del presente escenario:

TIEMPOS			
Nombre	Abrev.	SF2	
Mecanizado palet A	twa	2,5-3-3,5	min.
Mecanizado palet B	twb	3,3-4-4,5	min.
Desplazamiento del robot - Tpo. de Viaje	tv	0,00	min.
Carga/Descarga palet A	tla	0,85	min.
Carga/Descarga palet B	tlb	0,95	min.
Cierre de Bidas utilaje A	tca	0,50	min.
Cierre de Bidas utilaje B	tcb	0,55	min.
Giro Total de la Plataforma	TT	0,45	min.
Frecuencia de paro máq. por cambio de herramienta - Tpo.entre averías	ts	30-150	min.
Cambio de herramienta por parte operario	tr	3-6	min.

Tabla 4.5.3.4 - Tiempos de producción (ESC.2 - SF2)

Resumen de resultados - Simulación Arena

A partir de los datos obtenidos en la simulación, procedemos a calcular los tiempos muertos del sistema de la estrategia fija:

SF2			Tiempo Mecanizado (tw)											
			2,5				3,0				3,5			
			3,3				4,0				4,5			
tw	0	M1	0,12	± 0,04	0,16	± 0,04	0,07	± 0,02	0,11	± 0,05	0,08	± 0,04	0,04	± 0,02
		M2	0,18	± 0,03	0,12	± 0,02	0,13	± 0,04	0,10	± 0,02	0,09	± 0,03	0,03	± 0,03
		M3	0,21	± 0,03	0,10	± 0,03	0,17	± 0,04	0,05	± 0,02	0,14	± 0,04	0,06	± 0,04

SF2		Tiempo Mecanizado (tw)		
		2,5		3,5
		3,3		4,5
Z	0	M1	0,27	0,17
		M2	0,31	0,23
		M3	0,31	0,21

SF2		Tiempo Total Mecanizado (tw)		
		2,5		3,5
		3,3		4,5
Z	0	0,89		0,45

Tabla 4.5.3.5 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.2 - SF2)

Calculamos el promedio de tiempos muertos del sistema de la estrategia fija con una fiabilidad del 95%.

Observamos que aunque el tiempo de viaje del robot sea nulo, $t_v=0.00'$, existen tiempos improductivos en el sistema que estamos estudiando.

SF2		Tiempo Mecanizado (tw)		
		2,5		3,5
		3,3		4,5
Z	0	0,30		0,15

Tabla 4.5.3.6 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.2 - SF2)

En este apartado explicamos de forma esquemática la simulación en Arena, la cual se complementa con los archivos del CD correspondientes a este escenario y estrategia.

c. Escenario 3 - SF3

Como establecimos anteriormente, para ampliar la investigación de nuestro proyecto, analizaremos el comportamiento del sistema modificando los parámetros: tw y tv .

En este escenario buscamos los resultados de las simulaciones para $tw_{ai}=3'$, $tw_{a1}=2.5'$, $tw_{a2}=3.5'$, $tw_{b1}=4$, $tw_{b1}=3.3'$ y $tw_{b2}=4.5'$. Con tiempos de desplazamiento del robot $tv_1=0.7'$, $tv_1=0.5'$ y $tv_2=0.9'$, pero considerando que las máquinas nunca se averían.

En la siguiente tabla se exponen los tiempos de producción para la simulación del presente escenario:

TIEMPOS			
Nombre	Abrev.	SF3	
Mecanizado palet A	tw _a	2,5-3-3,5	min.
Mecanizado palet B	tw _b	3,3-4-4,5	min.
Desplazamiento del robot - Tpo. de Viaje	tv	0,5-0,7-0,9	min.
Carga/Descarga palet A	tl _a	0,85	min.
Carga/Descarga palet B	tl _b	0,95	min.
Cierre de Bridas utilaje A	tca	0,50	min.
Cierre de Bridas utilaje B	tcb	0,55	min.
Giro Total de la Plataforma	TT	0,45	min.

Tabla 4.5.3.7 - Tiempos de producción (ESC.3 - SF3)

Resumen de resultados - Simulación Arena

A partir de los datos obtenidos en la simulación, procedemos a calcular los tiempos muertos del sistema de la estrategia fija:

SF3			Tiempo Mecanizado (tw)					
			2,5		3,0		3,5	
			3,3		4,0		4,5	
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	M1	1,23	0,45	0,48	0,00	0,00	0,00
		M2	1,34	0,35	0,50	0,00	0,00	0,00
		M3	1,45	0,25	0,51	0,00	0,01	0,00
	0,7	M1	1,83	1,04	1,33	0,35	0,67	0,00
		M2	1,94	0,95	1,44	0,25	0,69	0,00
		M3	2,05	0,85	1,55	0,15	0,71	0,00
	0,9	M1	2,42	1,64	1,92	0,94	1,42	0,44
		M2	2,53	1,55	2,03	0,85	1,53	0,35
		M3	2,65	1,45	2,15	0,75	1,65	0,25

SF3			Tiempo Mecanizado (tw)		
			2,5	3,0	3,5
			3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	M1	1,68	0,48	0,00
		M2	1,69	0,50	0,00
		M3	1,70	0,51	0,01
	0,7	M1	2,87	1,67	0,67
		M2	2,89	1,69	0,69
		M3	2,90	1,70	0,71
	0,9	M1	4,06	2,86	1,86
		M2	4,08	2,88	1,88
		M3	4,10	2,90	1,90

SF3		Tiempo Total Mecanizado (tw)		
		2,5	3,0	3,5
		3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	5,08	1,49	0,01
	0,7	8,66	5,06	2,07
	0,9	12,25	8,65	5,65

Tabla 4.5.3.8 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.3 - SF3)

Calculamos el promedio de tiempos muertos del sistema de la estrategia fija con una fiabilidad del 95% y considerando que las máquinas no tienen averías.

Observamos que disminuyen los tiempos improductivos de las máquinas con respecto a la SF1 hasta hacerse cero pero las proporciones se mantienen. Es decir, la mayor reducción de tiempos muertos de las máquinas se produce al disminuir el tiempo de viaje del robot, $t_v=0.5'$ y aumentando los tiempos de mecanizado, con respecto a los valores iniciales, $t_{wa}=3.5'$ y $t_{wb}=4.5'$. Mientras que al aumentar el $t_v=0.9'$ casi se triplican los tiempos muertos del sistema.

SF3		Tiempo Mecanizado (t_w)			
		2,5	3,0	3,5	
		3,3	4,0	4,5	
Tiempo de Viaje (t_v)	0,5	1,69	0,50	0,00	→ Menor Tpo.Muerto
	0,7	2,89	1,69	0,69	
	0,9	4,08	2,88	1,88	

↓
Mayor Tpo.Muerto

Tabla 4.5.3.9 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.3 - SF3)

En este apartado explicamos de forma esquemática la simulación en Arena, la cual se complementa con los archivos del CD correspondientes a este escenario y estrategia.

d. Escenario 4 - SF4

Como establecimos anteriormente, para ampliar la investigación de nuestro proyecto, analizaremos el comportamiento del sistema modificando los parámetros: tw y tv .

En este escenario buscamos los resultados de las simulaciones para $tw_{ai}=3'$, $tw_{a1}=2.5'$, $tw_{a2}=3.5'$, $tw_{b1}=4$, $tw_{b1}=3.3'$ y $tw_{b2}=4.5'$. Con tiempos de desplazamiento del robot $tv_1=0.7'$, $tv_1=0.5'$ y $tv_2=0.9'$, pero considerando que el intervalo de tiempo en el que se producen las averías y el tiempo de reparación son deterministas.

En la siguiente tabla se exponen los tiempos de producción para la simulación del presente escenario:

TIEMPOS			
Nombre	Abrev.	SF4	
Mecanizado palet A	tw _a	2,5-3-3,5	min.
Mecanizado palet B	tw _b	3,3-4-4,5	min.
Desplazamiento del robot - Tpo. de Viaje	tv	0,5-0,7-0,9	min.
Carga/Descarga palet A	tl _a	0,85	min.
Carga/Descarga palet B	tl _b	0,95	min.
Cierre de Bidas utilaje A	tca	0,50	min.
Cierre de Bidas utilaje B	tcb	0,55	min.
Giro Total de la Plataforma	TT	0,45	min.
Frecuencia de paro máq. por cambio de herramienta - Tpo.entre averías	ts	30	min.
Cambio de herramienta por parte operario	tr	10	min.

Tabla 4.5.3.10 - Tiempos de producción (ESC.4 - SF4)

Resumen de resultados - Simulación Arena

A partir de los datos obtenidos en la simulación, procedemos a calcular los tiempos muertos del sistema de la estrategia fija:

SF4			Tiempo Mecanizado (tw)					
			2,5		3,0		3,5	
			3,3		4,0		4,5	
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	M1	0,80	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
		M2	0,87	0,27	0,01	0,00	0,00	0,00
		M3	1,20	0,19	0,04	0,00	0,01	0,00
	0,7	M1	1,45	0,87	0,72	0,22	0,01	0,00
		M2	1,52	0,70	0,76	0,17	0,11	0,00
		M3	1,63	0,63	0,97	0,09	0,13	0,00
	0,9	M1	5,58	1,64	4,97	0,94	1,39	3,86
		M2	2,57	4,59	2,30	0,85	4,61	0,64
		M3	2,65	4,66	2,39	0,75	4,73	0,53

SF4			Tiempo Mecanizado (tw)		
			2,5	3,0	3,5
			3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	M1	1,14	0,00	0,00
		M2	1,13	0,01	0,00
		M3	1,39	0,04	0,01
	0,7	M1	2,32	0,94	0,01
		M2	2,22	0,93	0,11
		M3	2,25	1,06	0,13
	0,9	M1	7,21	5,90	5,24
		M2	7,16	3,15	5,25
		M3	7,31	3,14	5,26

SF4		Tiempo Total Mecanizado (tw)		
		2,5	3,0	3,5
		3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	3,66	0,06	0,01
	0,7	6,79	2,93	0,25
	0,9	21,68	12,19	15,76

Tabla 4.5.3.11 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.4 - SF4)

Observamos que disminuyen los tiempos improductivos de las máquinas con respecto a lo anteriores escenarios, pero existen proporciones que se mantienen. Es decir, la mayor reducción de tiempos muertos de las máquinas se produce al disminuir el tiempo de viaje del robot, $t_v=0.5'$ y aumentando los tiempos de mecanizado con respecto a los valores iniciales, a $t_{wa}=3.5'$ y $t_{wb}=4.5'$ donde el $T_m=0$. Mientras que al aumentar el $t_v=0.9'$ y con $t_{wa}=2.5'$ y $t_{wb}=3.5'$ lo tiempos muertos del sistema crecen exponencialmente.

SF4			Tiempo Mecanizado (tw)		
			2,5	3,0	3,5
			3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5		1,22	0,02	0,00
	0,7		2,26	0,98	0,08
	0,9		7,23	4,06	5,25

→ TM tiende a cero

↓
Mayor Tpo.Muerto

Tabla 4.5.3.12 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.4 - SF4)

En este apartado explicamos de forma esquemática la simulación en Arena, la cual se complementa con los archivos del CD correspondientes a este escenario y estrategia.

4.5.4 Diferentes escenarios para la estrategia variable

a. Escenario 1 - SV1

Como establecimos anteriormente, para ampliar la investigación de nuestro proyecto, analizaremos el comportamiento del sistema modificando los parámetros: tw y tv .

En este escenario aumentamos y disminuimos los valores iniciales de mecanizado y tiempo de viaje del robot en un 17%.

Es decir, buscamos los resultados de las simulaciones para $twa_i=3'$, $twa_1=2.5'$, $twa_2=3.5'$, $twb_i=4'$, $twb_1=3.3'$ y $twb_2=4.5'$. Con tiempos de desplazamiento del robot $tv_i=0.7'$, $tv_1=0.5'$ y $tv_2=0.9'$.

En la siguiente tabla se exponen los tiempos de producción para la simulación del presente escenario:

TIEMPOS			
Nombre	Abrev.	SV1	
Mecanizado palet A	twa	2,5-3-3,5	min.
Mecanizado palet B	twb	3,3-4-4,5	min.
Desplazamiento del robot - Tpo. de Viaje	tv	0,5-0,7-0,9	min.
Carga/Descarga palet A	tla	0,85	min.
Carga/Descarga palet B	tlb	0,95	min.
Cierre de Bridas utilaje A	tca	0,50	min.
Cierre de Bridas utilaje B	tcb	0,55	min.
Giro Total de la Plataforma	TT	0,45	min.
Frecuencia de paro máq. por cambio de herramienta - Tpo.entre averías	ts	30-150	min.
Cambio de herramienta por parte operario	tr	3-6	min.

Tabla 4.5.4.1 - Tiempos de producción (ESC.1 - SV1)

Resumen de resultados - Simulación Arena

A partir de los datos obtenidos en la simulación, procedemos a calcular los tiempos muertos del sistema de la estrategia fija:

SV1			Tiempo Mecanizado (tw)											
			2,5				3,0				3,5			
			3,3				4,0				4,5			
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	M1	1,21	±0,04	0,53	±0,04	0,48	±0,03	0,15	±0,02	0,10	±0,01	0,09	±0,04
		M2	1,34	±0,03	0,43	±0,02	0,54	±0,05	0,12	±0,02	0,14	±0,02	0,10	±0,05
		M3	1,45	±0,05	0,33	±0,03	0,61	±0,02	0,08	±0,03	0,18	±0,04	0,07	±0,02
	0,7	M1	1,87	±0,07	1,26	±0,06	1,20	±0,05	0,52	±0,05	0,54	±0,05	0,11	±0,03
		M2	2,11	±0,08	1,03	±0,05	1,35	±0,04	0,41	±0,06	0,62	±0,06	0,08	±0,02
		M3	2,34	±0,10	0,84	±0,03	1,58	±0,07	0,21	±0,03	0,67	±0,07	0,05	±0,02
	0,9	M1	2,82	±0,08	1,96	±0,08	1,94	±0,10	1,19	±0,10	1,23	±0,03	0,75	±0,09
		M2	2,87	±0,08	1,93	±0,08	2,16	±0,09	0,99	±0,06	1,56	±0,13	0,53	±0,04
		M3	2,92	±0,07	1,94	±0,08	2,43	±0,11	0,76	±0,03	1,85	±0,09	0,27	±0,02

SV1			Tiempo Mecanizado (tw)		
			2,5	3,0	3,5
			3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	M1	1,74	0,63	0,18
		M2	1,77	0,67	0,24
		M3	1,79	0,69	0,25
	0,7	M1	3,12	1,72	0,65
		M2	3,14	1,76	0,70
		M3	3,18	1,79	0,71
	0,9	M1	4,77	3,13	1,98
		M2	4,80	3,15	2,09
		M3	4,86	3,19	2,12

SV1			Tiempo Total Mecanizado (tw)		
			2,5	3,0	3,5
			3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5		5,30	1,98	0,68
	0,7		9,44	5,27	2,06
	0,9		14,44	9,47	6,20

Tabla 4.5.4.2 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.1 - SV1)

Calculamos el promedio de tiempos muertos del sistema de la estrategia fija con una fiabilidad del 95%.

Observamos que la mayor reducción de tiempos muertos de las máquinas se produce al disminuir el tiempo de viaje del robot, $t_v=0.5'$ y aumentando los tiempos de mecanizado con respecto a los valores iniciales a $t_{wa}=3.5'$ y $t_{wb}=4.5'$. También observamos una importante reducción del tiempos muertos de las máquinas para tiempos de mecanizado $t_{wa}=3.5'$, $t_{wb}=4.5'$ y $t_v=0.7'$. Como también cuando el mecanizado se realiza con $t_{wa}=3$ y $t_{wb}=4$ y $t_v=0.5'$.

SV1		Tiempo Mecanizado (tw)		
		2,5	3,0	3,5
		3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	1,77	0,66	0,23
	0,7	3,15	1,76	0,69
	0,9	4,81	3,16	2,07

Tabla 4.5.4.3 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.1 - SV1)

En este apartado explicamos de forma esquemática la simulación en Arena, la cual se complementa con los archivos del CD correspondientes a este escenario y estrategia.

b. Escenario 2 - SV2

Como establecimos anteriormente, para ampliar la investigación de nuestro proyecto, analizaremos el comportamiento del sistema modificando los parámetros: t_w y t_v .

En este escenario pretendemos extremar los datos para el modelo, es decir, buscamos los resultados de las simulaciones para $t_{wa_i} = 3'$, $t_{wa_1} = 2.5'$, $t_{wa_2} = 3.5'$, $t_{wb_i} = 4$, $t_{wa_1} = 3.3'$, $t_{wa_2} = 4.5'$; con un tiempo de desplazamiento del robot es $t_v = 0'$.

En la siguiente tabla se exponen los tiempos de producción para la simulación del presente escenario:

TIEMPOS			
Nombre	Abrev.	SV2	
Mecanizado palet A	twa	2,5-3-3,5	min.
Mecanizado palet B	twb	3,3-4-4,5	min.
Desplazamiento del robot - Tpo. de Viaje	tv	0,00	min.
Carga/Descarga palet A	tla	0,85	min.
Carga/Descarga palet B	tlb	0,95	min.
Cierre de Bidas utilaje A	tca	0,50	min.
Cierre de Bidas utilaje B	tcb	0,55	min.
Giro Total de la Plataforma	TT	0,45	min.
Frecuencia de paro máq. por cambio de herramienta - Tpo.entre averías	ts	30-150	min.
Cambio de herramienta por parte operario	tr	3-6	min.

Tabla 4.5.4.4 - Tiempos de producción (ESC.2 - SV2)

Resumen de resultados - Simulación Arena

A partir de los datos obtenidos en la simulación, procedemos a calcular los tiempos muertos del sistema de la estrategia variable:

SV2		Tiempo Mecanizado (tw)													
		2,5				3,0				3,5					
		3,3				4,0				4,5					
Z	0	M1	0,12	±0,04	0,16	±0,04	0,07	±0,02	0,11	±0,05	0,08	±0,04	0,04	±0,02	
		M2	0,18	±0,03	0,12	±0,02	0,13	±0,04	0,1	±0,02	0,09	±0,03	0,03	±0,03	
		M3	0,21	±0,03	0,10	±0,03	0,17	±0,04	0,05	±0,02	0,14	±0,04	0,06	±0,04	

SV2		Tiempo Mecanizado (tw)		
		2,5		3,5
		3,3		4,5
Z	0	M1	0,27	0,12
		M2	0,31	0,13
		M3	0,31	0,21

SV2		Tiempo Total Mecanizado (tw)		
		2,5		3,5
		3,3		4,5
Z	0	0,89		0,45

Tabla 4.5.4.5 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.2 - SV2)

Calculamos el promedio de tiempos muertos del sistema de la estrategia fija con una fiabilidad del 95%. Sin embargo, aunque el tiempo de viaje del robot sea nulo vemos que se siguen produciendo tiempos muertos en las máquinas.

SV2		Tiempo Mecanizado (tw)		
		2,5		3,5
		3,3		4,5
Z	0	0,30		0,15

Tabla 4.5.4.6 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.2 - SV2)

En este apartado explicamos de forma esquemática la simulación en Arena, la cual se complementa con los archivos del CD correspondientes a este escenario y estrategia.

c. Escenario 3 - SV3

Como establecimos anteriormente, para ampliar la investigación de nuestro proyecto, analizaremos el comportamiento del sistema modificando los parámetros: tw y tv .

En este escenario buscamos los resultados de las simulaciones para $tw_{ai}=3'$, $tw_{a1}=2.5'$, $tw_{a2}=3.5'$, $tw_{bi}=4$, $tw_{b1}=3.3'$ y $tw_{b2}=4.5'$. Con tiempos de desplazamiento del robot $tv_1=0.7'$, $tv_1=0.5'$ y $tv_2=0.9'$, pero *considerando que las máquinas nunca se averían*.

En la siguiente tabla se exponen los tiempos de producción para la simulación del presente escenario:

TIEMPOS			
Nombre	Abrev.	SV3	
Mecanizado palet A	tw _a	2,5-3-3,5	min.
Mecanizado palet B	tw _b	3,3-4-4,5	min.
Desplazamiento del robot - Tpo. de Viaje	tv	0,5-0,7-0,9	min.
Carga/Descarga palet A	tl _a	0,85	min.
Carga/Descarga palet B	tl _b	0,95	min.
Cierre de Bidas utilaje A	tca	0,50	min.
Cierre de Bidas utilaje B	tcb	0,55	min.
Giro Total de la Plataforma	TT	0,45	min.

Tabla 4.5.4.7 - Tiempos de producción (ESC.3 - SV3)

Resumen de resultados - Simulación Arena

A partir de los datos obtenidos en la simulación, procedemos a calcular los tiempos muertos del sistema de la estrategia fija:

SV3			Tiempo Mecanizado (tw)					
			2,5		3,0		3,5	
			3,3		4,0		4,5	
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	M1	1,23	0,45	0,48	0,00	0,23	0,23
		M2	1,34	0,35	0,50	0,00	0,00	0,00
		M3	1,45	0,25	0,51	0,00	0,01	0,00
	0,7	M1	1,83	1,04	1,33	0,35	0,83	0,34
		M2	1,94	0,95	1,44	0,25	0,69	0,00
		M3	2,05	0,85	1,55	0,15	0,71	0,00
	0,9	M1	2,42	1,64	1,92	0,94	1,42	0,94
		M2	2,53	1,55	2,03	0,85	1,53	0,35
		M3	2,65	1,45	2,15	0,75	1,65	0,25

SV3			Tiempo Mecanizado (tw)		
			2,5	3,0	3,5
			3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	M1	1,68	0,48	0,46
		M2	1,69	0,50	0,00
		M3	1,70	0,51	0,01
	0,7	M1	2,87	1,67	1,17
		M2	2,89	1,69	0,69
		M3	2,90	1,70	0,71
	0,9	M1	4,06	2,86	2,36
		M2	4,08	2,88	1,88
		M3	4,10	2,90	1,90

SV3			Tiempo Total Mecanizado (tw)		
			2,5	3,0	3,5
			3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	5,08	1,49	0,47	
	0,7	8,66	5,06	2,57	
	0,9	12,25	8,65	6,15	

Tabla 4.5.4.8 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.3 - SV3)

Calculamos el promedio de tiempos muertos del sistema de la estrategia fija con una fiabilidad del 95%.

SV3		Tiempo Mecanizado (tw)		
		2,5	3,0	3,5
		3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	1,69	0,50	0,16
	0,7	2,89	1,69	0,86
	0,9	4,08	2,88	2,05

Tabla 4.5.4.9 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.3 - SV3)

En este apartado explicamos de forma esquemática la simulación en Arena, la cual se complementa con los archivos del CD correspondientes a este escenario y estrategia.

d. Escenario 4 - SV4

Como establecimos anteriormente, para ampliar la investigación de nuestro proyecto, analizaremos el comportamiento del sistema modificando los parámetros: tw y tv .

Buscamos los resultados de las simulaciones para $twa_1=3'$, $twa_1=2.5'$, $twa_2=3.5'$, $twb_1=4'$, $twb_1=3.3'$ y $twb_2=4.5'$. Con tiempos de desplazamiento del robot $tv_1=0.7'$, $tv_1=0.5'$ y $tv_2=0.9'$.

Pero con tiempos de paro por cambio de herramienta y reparación del operario deterministas.

En la siguiente tabla se exponen los tiempos de producción para la simulación del presente escenario:

TIEMPOS			
Nombre	Abrev.	SV4	
Mecanizado palet A	twa	2,5-3-3,5	min.
Mecanizado palet B	twb	3,3-4-4,5	min.
Desplazamiento del robot - Tpo. de Viaje	tv	0,5-0,7-0,9	min.
Carga/Descarga palet A	tla	0,85	min.
Carga/Descarga palet B	tlb	0,95	min.
Cierre de Bidas utilaje A	tca	0,50	min.
Cierre de Bidas utilaje B	tcb	0,55	min.
Giro Total de la Plataforma	TT	0,45	min.
Frecuencia de paro máq. por cambio de herramienta - Tpo.entre averías	ts	30	min.
Cambio de herramienta por parte operario	tr	10	min.

Tabla 4.5.4.10 - Tiempos de producción (ESC.4 - SV4)

Resumen de resultados - Simulación Arena

A partir de los datos obtenidos en la simulación, procedemos a calcular los tiempos muertos del sistema de la estrategia fija:

SV4			Tiempo Mecanizado (tw)					
			2,5		3,0		3,5	
			3,3		4,0		4,5	
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	M1	0,80	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
		M2	0,87	0,27	0,01	0,00	0,00	0,00
		M3	1,20	0,19	0,04	0,00	0,01	0,00
	0,7	M1	1,45	0,87	0,72	0,22	0,01	0,00
		M2	1,52	0,70	0,76	0,17	0,11	0,00
		M3	1,63	0,63	0,97	0,09	0,13	0,00
	0,9	M1	0,40	0,12	4,97	0,94	1,39	3,86
		M2	0,19	0,33	2,30	0,85	4,61	0,64
		M3	0,19	0,33	2,39	0,75	4,73	0,53

SV4			Tiempo Mecanizado (tw)					
			2,5		3,0		3,5	
			3,3		4,0		4,5	
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	M1	1,14		0,00		0,00	
		M2	1,13		0,01		0,00	
		M3	1,39		0,04		0,01	
	0,7	M1	2,32		0,94		0,01	
		M2	2,22		0,93		0,11	
		M3	2,25		1,06		0,13	
	0,9	M1	0,52		5,90		5,24	
		M2	0,51		3,15		5,25	
		M3	0,52		3,14		5,26	

SV4		Tiempo Total Mecanizado (tw)		
		2,5	3,0	3,5
		3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5	3,66	0,06	0,01
	0,7	6,79	2,93	0,25
	0,9	1,55	12,19	15,76

Tabla 4.5.4.11 - Total de Tiempos Improductivos del Sistema (ESC.4 - SV4)

Calculamos el promedio de tiempos muertos del sistema de la estrategia fija con una fiabilidad del 95%.

Observamos que la mayor reducción de tiempos muertos de las máquinas se produce al disminuir el tiempo de viaje del robot, $t_v=0.5'$ y con tiempo de mecanizado $t_{wa}=3.5'$ y $t_{wb}=4.5'$ y otro $t_{wa}=3'$ y $t_{wb}=4'$.

SV4			Tiempo Mecanizado (tw)		
			2,5	3,0	3,5
			3,3	4,0	4,5
Tiempo de Viaje (tv)	0,5		1,22	0,02	0,00
	0,7		2,26	0,98	0,08
	0,9		0,52	4,06	5,25

Tabla 4.5.4.12 - Promedio Tiempos Improductivos (ESC.4 - SV4)

En este apartado explicamos de forma esquemática la simulación en Arena, la cual se complementa con los archivos del CD correspondientes a este escenario y estrategia.

5. VIABILIDAD DEL PROYECTO

5.1 Estudio económico

En el siguiente apartado se muestra el presupuesto del coste de la realización del presente proyecto.

Para realizar este presupuesto se ha tenido en cuenta el tiempo dedicado a las siguientes tareas:

- ✓ Visitas varias, a la fábrica de Metaldyne S.L. en Gavà, para el conocimiento de los distintos procesos de fabricación y el estudio del funcionamiento del sistema actual.
- ✓ Medición de los tiempos de producción de la fábrica, mediante el sistema de control de tiempos predeterminados (MTM).
- ✓ Realización de una nueva base de datos de los tiempos de producción de la fábrica.
- ✓ Estudio y elaboración de diagramas de flujo de materiales de los procesos existentes y de las propuestas alternativas.
- ✓ Recogida y estudio de información y bibliografía sobre procesos de mejora continua.
- ✓ Propuesta de una nueva estrategia de alimentación del sistema, para la optimización de la fábrica adaptada a las necesidades de la empresa..
- ✓ Elaboración de la documentación.

También hemos tenido en cuenta las horas de reunión con los responsables del área de Producción y Mantenimiento, la licencia del programa Arena, el kilometraje hasta la empresa y los gastos asociados.

Resumen del Presupuesto:

Presupuesto Proyecto			
Gastos	€/hora	horas-km	total €
Ingeniero	45	240	10.800
Responsables Area Producción	60	10	600
Responsables Area Mantenimiento	55	10	550
Licencia Arena	-	-	5.000
Desplazamientos a Metaldyne S.L (coche): 36km(i/v) x0,30 €/kmx10 visitas	0,30	360	108
Gastos Varios	-	-	450
Subtotal			17.508
I.V.A (21%)			6.708
Total			21.010

Tabla 5.1.1 - Presupuesto Proyecto

6. CONCLUSIONES

Para la elaboración de este proyecto han sido necesarios los conocimientos adquiridos a lo largo de los cursos de Ingeniería en Organización Industrial sumado a la experiencia profesional en la industria de este último año. Los procedimientos y soluciones planteadas para la mejora de la línea de producción se han basado en la observación y la investigación de diferentes escenarios que hemos propuestos para la obtención de información.

Para los escenarios 1, observamos que a medida que aumentamos el tiempo de viaje del robot y disminuimos el tiempo de mecanizado, tenemos un aumento exponencial de los tiempos muertos de las máquinas. Vemos también, que la mayor reducción de tiempos muertos se produce con $t_{wa}=3.5'$ y $t_{wb}=4.5'$ con $t_v=0.5'$ ($TM=0.23'$)

Escenarios 2, observamos que aunque extrememos los parámetros iniciales considerando el tiempo de viaje del robot nulo $t_v=0$, se siguen observando tiempos improductivos en las máquinas.

Escenarios 3, vemos que se mantienen las proporciones (aumento o disminución) de los escenarios 1. Sin embargo para la estrategia fija se logra eliminar el tiempo muerto de las máquinas ($TM=0$).

Escenarios 4, observamos las mejores reducciones promedio de tiempos muertos de todos los escenarios ($pTM=0$), tanto para los $t_{wa}=3'$ - $t_{wb}=4'$ y para $t_{wa}=3.5'$ - $t_{wb}=4.5'$ ambos con $t_v=0.5'$. Sin embargo, en este escenario la estrategia variable obtiene los menores promedios de tiempos muertos del sistema.

En el estudio realizado observamos que la estrategia de alimentación, no ha influido demasiado en los resultados de tiempos muertos, pero nos ha permitido obtener información para realizar la investigación y las diferentes comparaciones de nuestro estudio.

Las herramientas utilizadas para este trabajo, nos han permitido hacer las diferentes simulaciones, con diferentes parámetros y obtener toda la información expuesta.

Por último, la realización de este proyecto me ha aportado nuevos conocimientos y ampliado otros tantos sobre los métodos de la industria relacionados con el sector terciario.

7. BIBLIOGRAFIA

Arena Simulation Software by Rockwell Automation: Home [en línea]. Disponible a: <www.arenasimulation.com> [consulta 15 de marzo 2014].

Jerry Banks, John S. Carson, Barry L. Nelson. Edición 2, ilustrada. Prentice Hall. 1996. Discrete-Event System Simulation.

"Las claves del éxito de Toyota. 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo"; autor, Jeffrey K. Liker.

Apuntes de "Automatització de Processos Industrials"; Ingeniería en Organización Industrial. Documentación digital Metaldyne S.L. de su página web; web.metaldyne.com.

INGENIERIA EN ORGANIZACION INDUSTRIAL

PROYECTO DE FIN DE CARRERA

ANEXOS

ESTUDIO DE UNA CELDA DE FABRICACION FLEXIBLE MEDIANTE LA SIMULACION DE EVENTOS DISCRETOS

Proyectista: Flavia Sanz Lucero

Director: Jan Rosell

Convocatoria: Curso 2013-14 2Q - Nov./Dic. 2014

INDICE

1. ANEXOS	2
1.1 INFORMES DE SIMULACION FIJA	3
1.2 INFORMES DE SIMULACION VARIABLE.....	12

1. ANEXOS

1.1 INFORMES DE SIMULACION FIJA

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System	Average
Number Out	1,204

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	3.0311	0,00	3.0292	3.0317	0.00	5.9500
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	2.0558	0,03	1.9669	2.1230	0.00	16.1756
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	5.0869	0,03	4.9986	5.1540	0.4500	20.9756

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Entity 1	1209.60	7,86	1194.00	1232.00		
Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Entity 1	1203.70	7,87	1187.00	1225.00		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	6.1496	0,00	6.1477	6.1523	0.00	7.0000

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
DescCarga A M1.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga A M2.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga A M3.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga B M1.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga B M2.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga B M3.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hold 1 M1.Queue	0.05644955	0,02	0.02878578	0.0939	0.00	4.7397
Hold 1 M2.Queue	0.05829410	0,02	0.01330215	0.1070	0.00	4.7971
Hold 1 M3.Queue	0.1521	0,04	0.03751847	0.2321	0.00	5.7354
Hold 2 M1.Queue	0.03174996	0,02	0.00	0.06428242	0.00	5.4038
Hold 2 M2.Queue	0.04413570	0,02	0.00917957	0.0957	0.00	4.9903
Hold 2 M3.Queue	0.02299700	0,01	0.00	0.05019425	0.00	3.6704
Match 1 M1.Queue1	0.00445597	0,00	0.00436893	0.00454545	0.00	0.4500
Match 1 M1.Queue2	2.7268	0,04	2.6559	2.8272	0.00	7.8403
Match 1 M2.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 1 M2.Queue2	2.8500	0,04	2.7527	2.9162	0.3000	5.5277
Match 1 M3.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 1 M3.Queue2	3.0350	0,03	2.9848	3.0962	0.4000	8.8915
Match 2 M1.Queue1	1.2008	0,05	1.1103	1.3165	0.00	7.8080
Match 2 M1.Queue2	0.1227	0,01	0.1021	0.1464	0.00	1.5000
Match 2 M2.Queue1	1.3522	0,04	1.2850	1.4599	0.00	7.2915
Match 2 M2.Queue2	0.08809013	0,02	0.04538407	0.1211	0.00	1.5000
Match 2 M3.Queue1	1.5763	0,07	1.3919	1.7080	0.00	11.0339
Match 2 M3.Queue2	0.0956	0,02	0.04437822	0.1418	0.00	1.5000
Match 3 M1.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 3 M1.Queue2	3.0877	0,05	2.9483	3.1963	1.5000	9.2352
Match 3 M2.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 3 M2.Queue2	2.9959	0,05	2.8336	3.0757	1.4000	10.5714
Match 3 M3.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 3 M3.Queue2	2.7803	0,05	2.6674	2.8749	1.3000	11.5761
Match 4 M1.Queue1	0.5173	0,05	0.3805	0.6489	0.00	8.0214
Match 4 M1.Queue2	0.1628	0,03	0.0981	0.2165	0.00	2.6500
Match 4 M2.Queue1	0.4085	0,06	0.2547	0.5172	0.00	12.0756
Match 4 M2.Queue2	0.1672	0,03	0.08942798	0.2379	0.00	2.6500
Match 4 M3.Queue1	0.2144	0,03	0.1430	0.2807	0.00	8.9261
Match 4 M3.Queue2	0.1332	0,02	0.08029252	0.1694	0.00	2.6500
Mec A M1.Queue	0.2046	0,04	0.1043	0.3013	0.00	5.4068
Mec A M2.Queue	0.1428	0,05	0.04599522	0.2539	0.00	5.1988
Mec A M3.Queue	0.2055	0,05	0.06780085	0.3248	0.00	5.3921
Mec B M1.Queue	0.1149	0,04	0.03771877	0.2254	0.00	4.8464
Mec B M2.Queue	0.1485	0,03	0.08350255	0.2252	0.00	5.0959
Mec B M3.Queue	0.07336237	0,03	0.00	0.1240	0.00	5.3777

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Queue

Other

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Queue

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
DescCarga A M1.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga A M2.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga A M3.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga B M1.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga B M2.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga B M3.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hold 1 M1.Queue	0.00569738	0,00	0.00290736	0.00939013	0.00	1.0000
Hold 1 M2.Queue	0.00584901	0,00	0.00134352	0.01059477	0.00	1.0000
Hold 1 M3.Queue	0.01522309	0,00	0.00382688	0.02320908	0.00	1.0000
Hold 2 M1.Queue	0.00316884	0,00	0.00	0.00636396	0.00	1.0000
Hold 2 M2.Queue	0.00440214	0,00	0.00093632	0.00947782	0.00	1.0000
Hold 2 M3.Queue	0.00230632	0,00	0.00	0.00501943	0.00	1.0000
Match 1 M1.Queue1	0.00045000	0,00	0.00045000	0.00045000	0.00	1.0000
Match 1 M1.Queue2	0.2758	0,00	0.2673	0.2846	0.00	1.0000
Match 1 M2.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Match 1 M2.Queue2	0.2875	0,00	0.2795	0.2938	0.00	1.0000
Match 1 M3.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Match 1 M3.Queue2	0.3049	0,00	0.3000	0.3096	0.00	1.0000
Match 2 M1.Queue1	0.1209	0,00	0.1134	0.1316	0.00	1.0000
Match 2 M1.Queue2	0.01234027	0,00	0.01020697	0.01478539	0.00	1.0000
Match 2 M2.Queue1	0.1356	0,00	0.1272	0.1460	0.00	1.0000
Match 2 M2.Queue2	0.00883692	0,00	0.00453841	0.01198897	0.00	1.0000
Match 2 M3.Queue1	0.1580	0,01	0.1420	0.1708	0.00	1.0000
Match 2 M3.Queue2	0.00959284	0,00	0.00443782	0.01446219	0.00	1.0000
Match 3 M1.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Match 3 M1.Queue2	0.3096	0,00	0.3007	0.3164	0.00	1.0000
Match 3 M2.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Match 3 M2.Queue2	0.3002	0,00	0.2890	0.3076	0.00	1.0000
Match 3 M3.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Match 3 M3.Queue2	0.2785	0,00	0.2721	0.2854	0.00	1.0000
Match 4 M1.Queue1	0.05177300	0,00	0.03881280	0.06424174	0.00	1.0000
Match 4 M1.Queue2	0.01632277	0,00	0.00971612	0.02164974	0.00	1.0000
Match 4 M2.Queue1	0.04086936	0,01	0.02598284	0.05120023	0.00	1.0000
Match 4 M2.Queue2	0.01675989	0,00	0.00894280	0.02402395	0.00	1.0000
Match 4 M3.Queue1	0.02138791	0,00	0.01458632	0.02753110	0.00	1.0000
Match 4 M3.Queue2	0.01342213	0,00	0.00802925	0.01798016	0.00	1.0000
Mec A M1.Queue	0.02072876	0,00	0.01053509	0.03103457	0.00	1.0000
Mec A M2.Queue	0.01444510	0,00	0.00469151	0.02539164	0.00	1.0000
Mec A M3.Queue	0.02072527	0,01	0.00684789	0.03247517	0.00	1.0000
Mec B M1.Queue	0.01152042	0,00	0.00377188	0.02253509	0.00	1.0000
Mec B M2.Queue	0.01489768	0,00	0.00835026	0.02251694	0.00	1.0000
Mec B M3.Queue	0.00735204	0,00	0.00	0.01240481	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Queue

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
robot.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Values Across All Replications

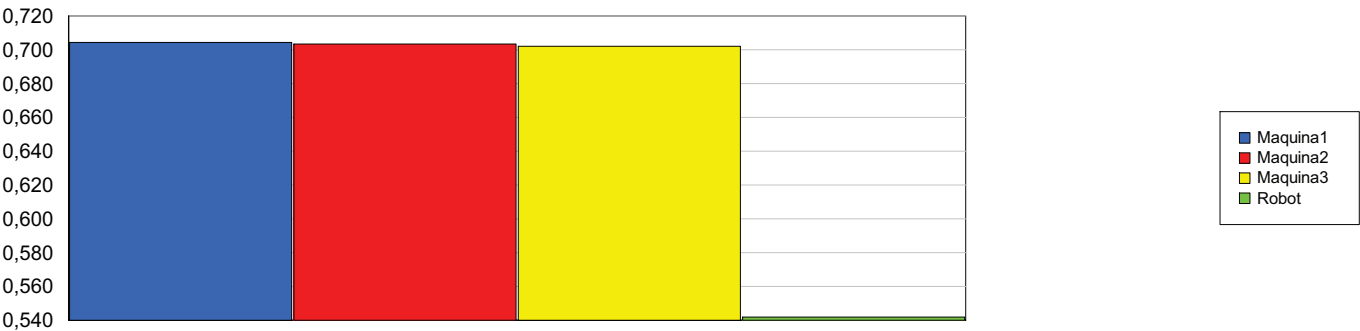
Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Instantaneous Utilization		Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Maquina1		0.7044	0,00	0.6955	0.7170	0.00	1.0000
Maquina2		0.7035	0,00	0.6940	0.7164	0.00	1.0000
Maquina3		0.7021	0,00	0.6930	0.7149	0.00	1.0000
Robot		0.5419	0,00	0.5346	0.5518	0.00	1.0000
Number Busy		Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Maquina1		0.7044	0,00	0.6955	0.7170	0.00	1.0000
Maquina2		0.7035	0,00	0.6940	0.7164	0.00	1.0000
Maquina3		0.7021	0,00	0.6930	0.7149	0.00	1.0000
Robot		0.5419	0,00	0.5346	0.5518	0.00	1.0000
Number Scheduled		Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Maquina1		1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina2		1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina3		1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Robot		1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization		Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Maquina1		0.7044	0,00	0.6955	0.7170		
Maquina2		0.7035	0,00	0.6940	0.7164		
Maquina3		0.7021	0,00	0.6930	0.7149		
Robot		0.5419	0,00	0.5346	0.5518		



Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Maquina1	201.50	1,23	199.00	205.00
Maquina2	201.50	1,23	199.00	205.00
Maquina3	201.00	1,43	198.00	205.00
Robot	602.40	3,96	594.00	613.00



1.2 INFORMES DE SIMULACION VARIABLE

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System	Average
Number Out	1,204

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	3.0311	0,00	3.0292	3.0317	0.00	5.9500
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	2.0558	0,03	1.9669	2.1230	0.00	16.1756
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	5.0869	0,03	4.9986	5.1540	0.4500	20.9756

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Entity 1	1209.60	7,86	1194.00	1232.00		
Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Entity 1	1203.70	7,87	1187.00	1225.00		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	6.1496	0,00	6.1477	6.1523	0.00	7.0000

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
DescCarga A M1.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga A M2.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga A M3.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga B M1.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga B M2.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga B M3.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hold 1 M1.Queue	0.05644955	0,02	0.02878578	0.0939	0.00	4.7397
Hold 1 M2.Queue	0.05829410	0,02	0.01330215	0.1070	0.00	4.7971
Hold 1 M3.Queue	0.1521	0,04	0.03751847	0.2321	0.00	5.7354
Hold 2 M1.Queue	0.03174996	0,02	0.00	0.06428242	0.00	5.4038
Hold 2 M2.Queue	0.04413570	0,02	0.00917957	0.0957	0.00	4.9903
Hold 2 M3.Queue	0.02299700	0,01	0.00	0.05019425	0.00	3.6704
Match 1 M1.Queue1	0.00445597	0,00	0.00436893	0.00454545	0.00	0.4500
Match 1 M1.Queue2	2.7268	0,04	2.6559	2.8272	0.00	7.8403
Match 1 M2.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 1 M2.Queue2	2.8500	0,04	2.7527	2.9162	0.3000	5.5277
Match 1 M3.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 1 M3.Queue2	3.0350	0,03	2.9848	3.0962	0.4000	8.8915
Match 2 M1.Queue1	1.2008	0,05	1.1103	1.3165	0.00	7.8080
Match 2 M1.Queue2	0.1227	0,01	0.1021	0.1464	0.00	1.5000
Match 2 M2.Queue1	1.3522	0,04	1.2850	1.4599	0.00	7.2915
Match 2 M2.Queue2	0.08809013	0,02	0.04538407	0.1211	0.00	1.5000
Match 2 M3.Queue1	1.5763	0,07	1.3919	1.7080	0.00	11.0339
Match 2 M3.Queue2	0.0956	0,02	0.04437822	0.1418	0.00	1.5000
Match 3 M1.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 3 M1.Queue2	3.0877	0,05	2.9483	3.1963	1.5000	9.2352
Match 3 M2.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 3 M2.Queue2	2.9959	0,05	2.8336	3.0757	1.4000	10.5714
Match 3 M3.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Match 3 M3.Queue2	2.7803	0,05	2.6674	2.8749	1.3000	11.5761
Match 4 M1.Queue1	0.5173	0,05	0.3805	0.6489	0.00	8.0214
Match 4 M1.Queue2	0.1628	0,03	0.0981	0.2165	0.00	2.6500
Match 4 M2.Queue1	0.4085	0,06	0.2547	0.5172	0.00	12.0756
Match 4 M2.Queue2	0.1672	0,03	0.08942798	0.2379	0.00	2.6500
Match 4 M3.Queue1	0.2144	0,03	0.1430	0.2807	0.00	8.9261
Match 4 M3.Queue2	0.1332	0,02	0.08029252	0.1694	0.00	2.6500
Mec A M1.Queue	0.2046	0,04	0.1043	0.3013	0.00	5.4068
Mec A M2.Queue	0.1428	0,05	0.04599522	0.2539	0.00	5.1988
Mec A M3.Queue	0.2055	0,05	0.06780085	0.3248	0.00	5.3921
Mec B M1.Queue	0.1149	0,04	0.03771877	0.2254	0.00	4.8464
Mec B M2.Queue	0.1485	0,03	0.08350255	0.2252	0.00	5.0959
Mec B M3.Queue	0.07336237	0,03	0.00	0.1240	0.00	5.3777

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Queue

Other

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Queue

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
DescCarga A M1.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga A M2.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga A M3.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga B M1.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga B M2.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
DescCarga B M3.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hold 1 M1.Queue	0.00569738	0,00	0.00290736	0.00939013	0.00	1.0000
Hold 1 M2.Queue	0.00584901	0,00	0.00134352	0.01059477	0.00	1.0000
Hold 1 M3.Queue	0.01522309	0,00	0.00382688	0.02320908	0.00	1.0000
Hold 2 M1.Queue	0.00316884	0,00	0.00	0.00636396	0.00	1.0000
Hold 2 M2.Queue	0.00440214	0,00	0.00093632	0.00947782	0.00	1.0000
Hold 2 M3.Queue	0.00230632	0,00	0.00	0.00501943	0.00	1.0000
Match 1 M1.Queue1	0.00045000	0,00	0.00045000	0.00045000	0.00	1.0000
Match 1 M1.Queue2	0.2758	0,00	0.2673	0.2846	0.00	1.0000
Match 1 M2.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Match 1 M2.Queue2	0.2875	0,00	0.2795	0.2938	0.00	1.0000
Match 1 M3.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Match 1 M3.Queue2	0.3049	0,00	0.3000	0.3096	0.00	1.0000
Match 2 M1.Queue1	0.1209	0,00	0.1134	0.1316	0.00	1.0000
Match 2 M1.Queue2	0.01234027	0,00	0.01020697	0.01478539	0.00	1.0000
Match 2 M2.Queue1	0.1356	0,00	0.1272	0.1460	0.00	1.0000
Match 2 M2.Queue2	0.00883692	0,00	0.00453841	0.01198897	0.00	1.0000
Match 2 M3.Queue1	0.1580	0,01	0.1420	0.1708	0.00	1.0000
Match 2 M3.Queue2	0.00959284	0,00	0.00443782	0.01446219	0.00	1.0000
Match 3 M1.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Match 3 M1.Queue2	0.3096	0,00	0.3007	0.3164	0.00	1.0000
Match 3 M2.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Match 3 M2.Queue2	0.3002	0,00	0.2890	0.3076	0.00	1.0000
Match 3 M3.Queue1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Match 3 M3.Queue2	0.2785	0,00	0.2721	0.2854	0.00	1.0000
Match 4 M1.Queue1	0.05177300	0,00	0.03881280	0.06424174	0.00	1.0000
Match 4 M1.Queue2	0.01632277	0,00	0.00971612	0.02164974	0.00	1.0000
Match 4 M2.Queue1	0.04086936	0,01	0.02598284	0.05120023	0.00	1.0000
Match 4 M2.Queue2	0.01675989	0,00	0.00894280	0.02402395	0.00	1.0000
Match 4 M3.Queue1	0.02138791	0,00	0.01458632	0.02753110	0.00	1.0000
Match 4 M3.Queue2	0.01342213	0,00	0.00802925	0.01798016	0.00	1.0000
Mec A M1.Queue	0.02072876	0,00	0.01053509	0.03103457	0.00	1.0000
Mec A M2.Queue	0.01444510	0,00	0.00469151	0.02539164	0.00	1.0000
Mec A M3.Queue	0.02072527	0,01	0.00684789	0.03247517	0.00	1.0000
Mec B M1.Queue	0.01152042	0,00	0.00377188	0.02253509	0.00	1.0000
Mec B M2.Queue	0.01489768	0,00	0.00835026	0.02251694	0.00	1.0000
Mec B M3.Queue	0.00735204	0,00	0.00	0.01240481	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Queue

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
robot.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Instantaneous Utilization		Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Maquina1		0.7044	0,00	0.6955	0.7170	0.00	1.0000
Maquina2		0.7035	0,00	0.6940	0.7164	0.00	1.0000
Maquina3		0.7021	0,00	0.6930	0.7149	0.00	1.0000
Robot		0.5419	0,00	0.5346	0.5518	0.00	1.0000
Number Busy		Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Maquina1		0.7044	0,00	0.6955	0.7170	0.00	1.0000
Maquina2		0.7035	0,00	0.6940	0.7164	0.00	1.0000
Maquina3		0.7021	0,00	0.6930	0.7149	0.00	1.0000
Robot		0.5419	0,00	0.5346	0.5518	0.00	1.0000
Number Scheduled		Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Maquina1		1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina2		1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina3		1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Robot		1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization		Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Maquina1		0.7044	0,00	0.6955	0.7170		
Maquina2		0.7035	0,00	0.6940	0.7164		
Maquina3		0.7021	0,00	0.6930	0.7149		
Robot		0.5419	0,00	0.5346	0.5518		



Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Maquina1	201.50	1,23	199.00	205.00
Maquina2	201.50	1,23	199.00	205.00
Maquina3	201.00	1,43	198.00	205.00
Robot	602.40	3,96	594.00	613.00

